



**TUGAS AKHIR - SF 141501**

**PEMANFAATAN GAS LPG 3 KG SEBAGAI  
PEMANAS *THERMOELECTRIC GENERATOR*  
UNTUK PENGISIAN AKI**

**Samsul Arifai  
NRP 1110100048**

**Dosen Pembimbing  
Bachtera Indarto, M.Si  
Drs. Hasto Sunarno, M.Sc**

**DEPARTEMEN FISIKA  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017**



**TUGAS AKHIR - SF 141501**

**PEMANFAATAN GAS LPG 3 KG SEBAGAI PEMANAS  
*THERMOELECTRIC GENERATOR*  
UNTUK PENGISIAN AKI**

**Samsul Arifai  
NRP 1110100048**

**Dosen Pembimbing  
Bachtera Indarto, M.Si  
Drs. Hasto Sunarno, M.Sc**

**DEPARTEMEN FISIKA  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017**



**FINAL PROJECT - SF 141501**

***LPT 3 KG GAS UTILIZATION AS HEATING  
THERMOELECTRIC GENERATOR FOR CHARGING  
STORAGE BATTERY***

**Samsul Arifai  
NRP 1110100048**

**Advisors  
Bachtera Indarto, M.Si  
Drs. Hasto Sunarno, M.Sc**

**Department of Physics  
Faculty of Mathematics and Science  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

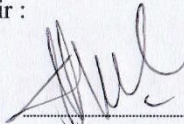
**PEMANFAATAN GAS LPG 3 KG SEBAGAI  
PEMANAS *THERMOELECTRIC GENERATOR*  
UNTUK PENGISIAN AKI  
HALAMAN PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains  
pada  
Bidang Studi Fisika Instrumentasi dan Elektronika  
Program Studi S-1 Departemen Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

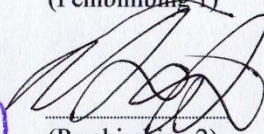
Oleh:  
**SAMSUL ARIFAI**  
NRP 1110100048

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

Drs. Bachtera Indarto, M.Si  
NIP. 19610404 199102.1.001

  
.....  
(Pembimbing 1)

Drs. Hasto Sunarno, M.Sc  
NIP. 19560331 198003.1.001

  
.....  
(Pembimbing 2)



**SURABAYA**  
**Juli 2017**

# **PEMANFAATAN GAS LPG 3 KG SEBAGAI PEMANAS *THERMOELECTRIC GENERATOR* UNTUK PENGISIAN AKI**

**Penulis : Samsul Arifai**

**NRP : 111000048**

**Departemen : Fisika FMIPA ITS**

**Dosen Pembimbing : Bachtera Indarto, M.Si**

**Drs. Hasto Sunarno, M.Sc**

## **Abstrak**

Penelitian berjudul “Pemanfaatan Gas LPG 3 KG Sebagai Pemanas *Thermoelectric Generator* untuk Pengisian Aki” telah dilakukan. Penelitian bertujuan untuk mengetahui berat gas yang terpakai, energi yang diperoleh dan waktu yang dibutuhkan dalam pengisian aki. Tiga buah modul *Thermoelectric generator* dirangkai secara seri dan dipanaskan menggunakan kompor gas yang telah diubah tungkunya. Lubang tungku dibuat berjumlah dua puluh satu lubang dan diperkecil kurang lebih berdiameter 0,5 mm membentuk formasi tiga baris dan tujuh kolom dengan jarak 2 cm antara satu lubang dengan lubang terdekat dalam satu baris atau kolom. Hal tersebut bertujuan memberikan pemanasan yang tersebar pada luasan modul *Thermoelectric*. Diantara api dan modul *Thermoelectric* dipasang lempeng tembaga yang diberi jarak 2 cm terhadap permukaan tungku untuk menghindari panas berlebih akibat kontak modul dengan api, dan untuk meratakan panas dari api sebelum diterima modul *Thermoelectric*. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah dari pembakaran 31 gram gas selama 1 jam diperoleh energi listrik tersimpan 7346.29 joules dan lama waktu pengisian aki selama 13.23 jam.

*Kata kunci : gas, listrik, panas, tungku, thermoelectric.*

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# **LPT 3 KG GAS UTILIZATION AS HEATING THERMOELECTRIC GENERATOR FOR CHARGING STORAGE BATTERY**

**Name** : Samsul Arifai  
**NRP** : 111000048  
**Department** : Fisika FMIPA ITS  
**Advisor** : Bachtera Indarto, M.Si  
Drs. Hasto Sunarno, M.Sc

## *Abstract*

*The research titled "Utilization of 3G LPG Gas as Thermoelectric Generator Heater for Charging Battery" has been done. The purpose of this study is to determine the weight of gas used and the time required in charging the battery. Three Thermoelectric generator modules are strung in series and heated using a modified gas stove in the furnace section. The furnace hole was made twenty-one holes and reduced to approximately 0.5 mm in diameter forming three rows and seven columns 2 cm apart from one hole with the nearest hole in a row or column. It aims to provide a warming spread over the extent of the Thermoelectric module. Between the fire and the Thermoelectric module a copper plate is placed 2 cm apart to the furnace surface to avoid overheating due to contact of the module with fire, and to flatten the heat from the fire before it is received by the Thermoelectric module. The results obtained from this research is from burning 31 grams of gas for 1 hour obtained electrical energy stored 7346.29 joules.*

*Keywords: gas, electricity, heat, furnace, thermoelectric.*

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillah*, segala puji penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya, sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir sebagai syarat pencapaian pendidikan strata satu di jurusan Fisika FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan judul “Pemanfaatan Gas LPG 3 KG sebagai Pemanas *Thermoelectric Generator* untuk Pengisian Aki”.

Bagaikan lidi yang tak dapat menyapu sendiri, penulis menyadari bahwa terselesainya Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua tercinta, bapak Solihin dan ibu Kartini yang telah memberikan nasehat, ketenangan dan kekuatan mental serta semua perjuangan terbaik untuk penulis.
2. Paman dan bibi serta kelima saudara penulis yang memberikan dukungan, arahan dan semangat sampai akhir masa perkuliaha.
3. Bapak Bachtera Indarto, M.Si dan Drs. Hasto Sunarno, M.Sc, selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Mochamad Zainuri, M.Si selaku dosen wali penulis yang memberikan perhatian dan arahan selama masa studi penulis.
5. Bapak Dr. Yono Hadi P., M. Eng dan Dr. rer. nat. Eko Minarto, selaku Ketua Jurusan dan Seketaris Jurusan Fisika FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
6. Seluruh teman perjuangan COSMIC 2010 yang pernah berjuang bersama dan memberi semangat di luar dan di dalam kampus.
7. Seluruh teman seperjuangan FOTON 2011 yang telah membantu selama perkuliahan.
8. Seluruh anggota Laboratorium Instrumenstasi, Bapak Diky Anggoro, M.Si sebagai Kepala Laboratorium, dan teman-teman Fisika 2013 yang telah meluangkan waktu berdiskusi dan belajar bersama-sama selama penyelesaian Tugas Akhir.
9. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan ini masih terdapat kesalahan. Sehingga kritik dan saran pembaca dapat sangat membantu untuk menyempurnakan laporan ini. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi semua pihak. Aamiin

Surabaya, Juni 2017  
Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
<i>COVER PAGE</i> .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Abstrak .....	iv
<i>Abstract</i> .....	vi
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
DAFTAR TABEL .....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xviii
BAB IPENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan masalah .....	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
BAB IITINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Perpindahan Panas.....	5
2.2 Bahan Semikonduktor .....	7
2.3 Semikonduktro Intrinsik.....	7
2.4 Semikonduktor Ektrinsik.....	9
2.4.1 Semikonduktor Tipe-n.....	9
2.4.1 Semikonduktor Tipe-p.....	11

2.5	Efek <i>Thermoelectric</i> .....	12
2.6	Prinsip Kerja <i>Thermoelectric</i> .....	14
2.7	Arus dan Tegangan.....	16
2.8	Daya Listrik.....	18
2.9	Sensor Arus .....	19
2.10	Sensor Tegangan .....	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		21
3.1	Alat dan Bahan .....	21
3.2	Prosedur Eksperimen.....	21
3.2.1	Perancangan Umum Sistem .....	21
3.2.2	Perancangan Alat.....	22
3.3	Pengisian Aki .....	27
3.4	Pengambilan Data .....	28
BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN .....		31
4.1	Pengujian Sistem Pemanas .....	31
4.2	Karakterisasi TEG SP184827145SA .....	33
4.2.1	Pengukuran Perbedaan Temperatur Dua Sisi TEG SP184827145SA Terhadap Waktu.....	34
4.2.2	Pengukuran Tegangan Keluaran Terhadap Perbedaan Temperatur.....	35
4.2.3	Pengukuran Perbedaan Temperatur Dua Sisi TEG SP184827145SA Terhadap Waktu.....	36
4.3	Pembebanan TEG SP184827145SA .....	37
4.4	Perubahan Massa dan Energi yang Diperoleh.....	37
4.5	Pengisian Aki .....	40

BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	43
5.1	Kesimpulan.....	43
5.2	Saran.....	43
DAFTAR PUSTAKA	.....	45
LAMPIRAN	.....	47

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Grafik konsumsi energi listrik perkapita di dunia ....	2
Gambar 2. 1 Kristal silikon dua dimensi dan struktur pita energi .	9
Gambar 2. 2 (a) Kristal silikon dengan ketakmurnian Arsen (b) Struktur pita energi.....	10
Gambar 2. 3 (a) Kristal silikon dengan ketakmurnian Boron (b) struktur pita energi .....	12
Gambar 2. 4 Percobaan untuk memperagakan efek Seebeck dan efek Peltier.....	13
Gambar 2. 5 <i>Thermoelectric</i> Genrator berbahan semikonduktor	16
Gambar 2. 6 Gambaran aliran arus dalam sebuah penghantar ....	17
Gambar 2. 7 Gaya lorentz yang dihasilkan oleh arus $i$ dalam medan magnet $B$ .....	19
Gambar 3. 1 Diagram rancangan umum sistem .....	22
Gambar 3. 2 (a) Rangkaian sistem sensor, sistem pemanas, sistem pendingin dan rangkaian <i>thermoelectric</i> . (b) Sistem timbangan .	23
Gambar 3. 3 Kerja bagian-bagian sistem timbangan.....	25
Gambar 3. 4 Gaya-gaya yang bekerja pada sistem timbangan....	26
Gambar 3. 5 Diagram pengambian data .....	29
Gambar 4. 1 Persebaran panas pada titik-titik pemanasan lempeng .....	32
Gambar 4. 2 Grafik pengujian pemanas .....	33
Gambar 4. 3 Perbedaan temperatur dua sisi <i>thermoelectric</i> .....	34
Gambar 4. 4 Tegangan keluaran TEG sebagai fungsi perbedaan Temperatur .....	35
Gambar 4. 5 Tegangan yang dihasilkan TEG terhadap waktu ....	36
Gambar 4. 6 Pembebanan TEG SP184827145SA .....	37
Gambar 4. 7 Arus dan tegangan konversi gas menjadi listrik .....	38
Gambar 4. 8 Daya hasil konversi gas menjadi listrik .....	39
Tabel 4. 1 Data massa terpakai dan energi diperoleh .....	40
Gambar 4. 9 arus pengisian aki selama 3610 detik .....	41
Gambar 4. 10 Tegangan, daya dan arus pengisian aki .....	41
Lampiran A. Tabel Pengambilan Data .....	47
Lampiran B. Foto Alat.....	65

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## **DAFTAR TABEL**

Tabel 4. 1 Data massa terpakai dan energi diperoleh .....	40
---	----

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran A. Tabel Pengambilan Data .....	47
Lampiran B. Foto Alat.....	65

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

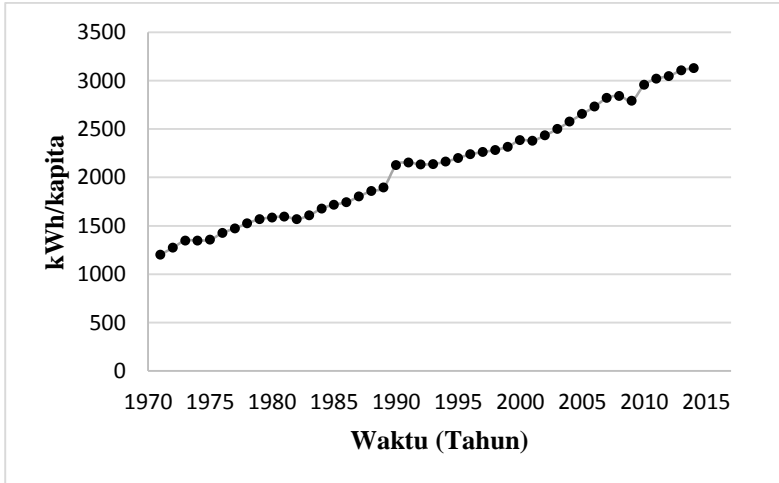
# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Dalam tahun 1663-1793 Thomas Newcomen menemukan mesin uap yang dapat digunakan sebagai penggerak. Mesin uap bekerja dengan mengkonversi energi yang tersimpan di dalam bahan bakar menjadi energi mekanik[8]. Melalui mesin uap manusia dapat mengkonversi energi panas menjadi energi mekanik. Sebagai hasilnya, diperoleh kerja yang lebih besar dalam waktu yang lebih cepat. Dalam tahun 1831–1832 Michael Faraday menemukan generator yang dapat menghasilkan energi listrik dari energi mekanik. Penemuan tersebut menjadi cara memperoleh energi listrik dari berbagai bentuk energi lain. Semua bentuk energi yang dapat dikonversi menjadi energi mekanik berarti dapat dikonversi menjadi energi listrik[9]. Setelah ditemukan mesin uap sebagai penggerak dan generator yang menghasilkan listrik dari gerak, teknologi dikembangkan dalam berbagai bidang. Dengan teknologi yang dibuat, sebuah pekerjaan dapat diselesaikan dengan lebih cepat dan menjadi lebih mudah. Perkembangan teknologi memberi dampak peningkatan di berbagai bidang kehidupan manusia, seperti produktivitas, ekonomi, kesehatan, pendidikan dan jumlah penduduk. Selain memberikan kemudahan, sebuah teknologi juga memiliki masalah baru, yaitu ketersediaan sumber energi di alam untuk pemenuhan energi teknologi itu sendiri. Hal tersebut dikarenakan sebagian besar teknologi yang dibuat manusia bekerja dengan energi dalam bentuk listrik dan bahan bakar fosil. Sehingga energi dalam bentuk tertentu hanya dapat digunakan untuk teknologi manusia apabila dalam bentuk bahan bakar atau dapat dikonversi menjadi energi listrik. Memasuki abad 21 terdapat persoalan yang harus dihadapi manusia dengan meningkatnya penggunaan teknologi, khususnya teknologi yang menggunakan energi listrik, yaitu kebutuhan energi listrik semakin meningkat dengan semakin banyak teknologi yang beroperasi dengan energi listrik. Dalam bidang telekomunikasi, jumlah handphone hampir

menyamai jumlah penduduk dunia. Berdasarkan bank data dunia persentase pelanggan telephone celluler dari populasi penduduk dunia meningkat dari 1% di tahun 1994 menjadi 98,32 % di tahun 2015 [12]. Telephone celluler sudah menjadi kebutuhan dasar setiap individu. Setiap penduduk di seluruh dunia mengkonsumsi energi listrik sepanjang waktu, 24 jam dalam sehari. Bukan hanya di bidang telekomunikasi, dalam bidang transportasi juga sedang terus menerus dikembangkan kendaraan berenergi listrik. Bahkan dalam tahun 2017, di tahun penelitian ini dilakukan, beberapa produsen mobil di Eropa dan Amerika serikat telah mengeluarkan produk mobil listrik dan siap memasarkannya. Dampak dari kemajuan tersebut, kebutuhan energi listrik di masa depan semakin berlipat. Sehingga untuk memenuhi kebutuhan tersebut dibutuhkan lebih banyak konversi energi menjadi energi listrik dengan memanfaatkan semua potensi energi yang tersedia. Berikut adalah grafik peningkatan konsumsi listrik perkapita berdasarkan bank data dunia dari tahun 1960 sampai tahun 2015.



**Gambar 1. 1 Grafik konsumsi energi listrik perkapita di dunia**

Contoh nyata persoalan energi listrik yang terjadi di Indonesia adalah kekurangan energi listrik di provinsi Sulawesi Utara. Berdasarkan pernyataan kepala dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Sulawesi Utara Ir. B. A. Tinungki, bahwa sampai bulan maret 2017 masih terdapat 35 desa yang belum memperoleh listrik[10 ]. Disisi lain, distribusi gas lpg telah mencapai daerah-daerah di Sulawesi Utara [11]. Persoalan tersebut adalah contoh adanya kekurangan listrik dan terdapat potensi energi yang belum terkonversi menjadi listrik. Gas lpg dapat menghasilkan panas melalui pembakaran. Sedangkan panas adalah salah satu bentuk energi yang dapat dikonversi menjadi listrik. Akan tetapi, masih belum diketahui seberapa besar energi listrik yang dapat diperoleh dari gas lpg. Panas dapat dikonversi menjadi listrik melalui beberapa cara, salah satunya adalah menggunakan *thermoelectric*. *Thermoelectric* memiliki keunggulan dalam kemudahan dan keramahan terhadap lingkungan. Oleh sebab itu pada penelitian ini dilakukan konversi panas menjadi listrik dengan memanfaatkan gas lpg 3 kg sebagai pemanas *thermoelectric*.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, permasalahan dalam penelitian ini adalah

1. Berapa berat gas LPG yang terpakai dalam konversi panas menjadi listrik dengan *thermoelectric* selama 1 jam?
2. Berapa energi listrik yang dapat diperoleh dari panas pembakaran gas lpg menggunakan *thermoelectric* selama 1 jam?
3. Berapa waktu yang dibutuhkan untuk pengisian aki 6 Volt 4,5 Ah?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui berat gas LPG yang terpakai dalam konversi panas menjadi listrik dengan *thermoelectric* selama 1 jam.

2. Mengetahui energi listrik yang dapat diperoleh dari panas pembakaran gas lpg menggunakan *thermoelectric* selama 1 jam.
3. Mengetahui waktu yang dibutuhkan untuk pengisian aki 6 Volt 4,5 Ah.

#### **1.4 Batasan masalah**

*Thermoelectric* yang digunakan adalah TEG SP184827145SA. Tungku kompor yang digunakan adalah tungku berbentuk kotak dengan ukuran 2 cm x 4.5 cm x 30 cm dengan 21 lubang api. Lama pengukuran 1 jam dengan temperatur sisi panas *thermoelectric* 128-132 °C untuk pengisian aki 6 Volt 4,5 Ah.

#### **1.5 Sistematika Penulisan**

Laporan Tugas Akhir ini terdiri dari abstrak yang berisi tentang gambaran umum dari penelitian ini. Bab I berisikan tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan. Bab II menjelaskan tentang tinjauan pustaka yang berkaitan dengan teori yang menjadi dasar dari penelitian. Bab III berisi uraian metode yang digunakan dalam penelitian ini yang meliputi rancangan alat dan langkah dalam pengambilan data. Bab IV berisi data dan analisis hasil pengukuran; Dan Bab V berisikan tentang kesimpulan dan saran.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Perpindahan Panas**

Perpindahan panas dapat didefinisikan sebagai berpindahnya energi dari satu daerah ke daerah lainnya sebagai akibat perbedaan temperatur. Panas dapat berpindah melalui tiga cara yaitu konduksi, radiasi, dan konveksi. Konduksi adalah perpindahan panas dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur lebih rendah di dalam suatu medium (padat, cair, dan fgas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung. Dalam perpindahan panas secara konduksi, perpindahan energi terjadi karena hubungan molekul secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar. Menurut teori kinetik, temperatur elemen suatu zat sebanding dengan energi kinetik rata-rata molekul-molekul yang membentuk elemen itu. Energi yang dimiliki oleh suatu elemen zat yang disebabkan oleh kecepatan dan posisi relatif molekul-molekul yang disebut energi-dalam. Jadi, semakin cepat molekul-molekul bergerak, semakin tinggi temperatur maupun energi-dalam elemen zat. Bila molekul-molekul di satu daerah memperoleh energi kinetik rata-rata yang besar dari pada yang dimiliki oleh molekul-molekul di suatu daerah yang berdekatan, sebagaimana diwujudkan oleh adanya beda temperatur, maka molekul-molekul yang memiliki energi yang lebih besar itu akan memindahkan sebagian energinya kepada molekul-molekul di daerah yang bertemperatur lebih rendah. Perpindahan energi tersebut dapat berlangsung dengan tumbukan elastik (misalnya dalam fluida) atau dengan pembauran (difusi) elektron-elektron yang bergerak secara lebih cepat dari daerah yang bertemperatur lebih tinggi ke daerah yang bertemperatur lebih rendah (misalnya dalam logam). Konduksi merupakan satu-satunya mekanisme perpindahan panas yang dapat terjadi didapat zat padat yang tidak tembus cahaya. Konduksi juga dapat terjadi di dalam fluida, tetapi di dalam

medium yang bukan padat biasanya bergabung dengan konveksi, dan dalam beberapa hal juga dengan radiasi.

Perpindahan energi panas dengan cara konveksi dari suatu permukaan yang temperaturnya lebih tinggi dari temperatur fluida sekitarnya berlangsung dalam beberapa tahap. Pertama, panas akan mengalir dengan cara konduksi dari permukaan ke partikel-partikel fluida yang berbatasan. Energi yang berpindah dengan cara demikian akan menaikkan temperatur dan energi-dalam partikel-partikel fluida ini. Kemudian partikel-partikel fluida tersebut akan bergerak ke daerah yang bertemperatur lebih rendah di dalam fluida kemudian akan bercampur dan memindahkan sebagian energinya kepada partikel-partikel fluida lainnya. Dalam hal ini alirannya adalah aliran fluida maupun energi. Energi sebenarnya disimpan di dalam partikel-partikel fluida dan diangkut sebagai akibat gerakan massa partikel-partikel tersebut. Mekanisme ini untuk operasinya tidak tergantung hanya pada beda temperatur dan oleh karena itu tidak secara tepat memenuhi definisi perpindahan-panas. Tetapi hasil bersihnya adalah angkutan energi, dan karena terjadinya dalam arah gradien temperatur, maka juga digolongkan sebagai suatu cara perpindahan-panas dan ditunjuk dengan sebutan aliran panas dengan cara konveksi.

Perpindahan-panas konveksi diklasifikasikan dalam konveksi bebas dan konveksi paksa menurut cara menggerakkan alirannya. Bila gerakan mencampur berlangsung semata-mata sebagai akibat dari perbedaan kerapatan yang disebabkan oleh gradien temperatur, maka disebut konveksi bebas atau alamiah. Bila gerakan mencampur disebabkan oleh suatu alat dari luar, seperti pompa atau kipas, maka disebut konveksi paksa.

Radiasi panas adalah proses perpindahan panas dari benda yang bertemperatur tinggi ke benda yang bertemperatur rendah bila benda-benda itu terpisah di dalam ruang, bahkan bila terdapat ruang hampa di antara benda-benda tersebut. Istilah radiasi umumnya digunakan dalam gelombang elektromagnetik, tetapi di dalam ilmu perpindahan panas yang diperhatikan hanyalah yang berkaitan dengan radiasi yang diakibatkan temperatur dan yang

dapat mengangkut energi melalui medium yang tembus cahaya atau melalui ruang. Energi yang berpindah dengan cara ini disebut *panas radiasi*. Jadi panas merupakan energi yang dipancarkan oleh materi akibat perubahan konfigurasi elektron atom atau molekul pembangun materi tersebut. Energi diangkut dengan gelombang elektromagnetik. Gelombang ini, dengan menganggap tingkat keadaan yang nonrelativistik dan tidak terjadi penghamburan, bergerak dalam garis lurus dalam medium yang seragam atau vakum hingga gelombang ini dipantulkan atau diserap (Soetyono Iskandar, 2014).

## **2.2 Bahan Semikonduktor**

Bahan semikonduktor telah dipelajari sejak tahun 1920-an. Namun perkembangan semikonduktor yang sesungguhnya dimulai setelah Shockley, Barden dan Brattain menemukan transistor pada akhir tahun 1940-an. Karena penemuan tersebut, semikonduktor dapat dihubungkan dengan piranti yang lain. Bahan-bahan semikonduktor umumnya mempunyai konduktivitas listrik antara  $10^6$ - $10^4 \Omega^{-1} m^{-1}$ , dan celah energinya lebih kecil dari 6 eV. Bahan semikonduktor dapat berupa bahan murni atau bahan paduan.

Ditinjau dari jenis pembawa muatan yang menghantarkan listrik didalamnya, bahan semikonduktor dapat dibedakan menjadi bahan semikonduktor intrinsik dan ekstrinsik. Bahan semikonduktor intrinsik, merupakan bahan semikonduktor yang tidak mengandung atom-atom ketakmurnian, sehingga hantaran listrik yang terjadi pada bahan tersebut adalah elektron dan lubang. Sedangkan pada bahan semikonduktor ekstrinsik, karena mengandung atom-atom pengotor, pembawa muatan didominasi oleh elektron saja atau lubang saja.

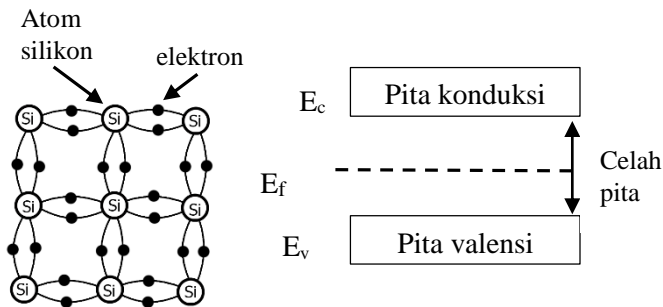
## **2.3 Semikonduktor Intrinsik**

Salah satu contoh bahan semikonduktor intrinsik adalah Silikon (Si), walaupun demikian penjelasannya juga berlaku bagi

bahan semikonduktor jenis lainnya. Silikon mempunyai konfigurasi elektron:  $1s - 2s - 2p^2 - 2s^2 - 2p^6 - 3s^2 - 3p^2$ . Hal ini menunjukkan bahan orbital valensi bagi silikon adalah  $3s^2 - 3p^2$  atau disingkat  $s^2p^2$  dalam pembentukan kristal silikon, atom-atom silikon mengalami *hibridasi* orbital valensi dari  $s^2p^2$  menjadi  $sp^3$ , yaitu sebuah elektron pada s dipromosikan ke orbital p, sehingga sering disebut hibridasi  $sp^3$ . Pada orbital hibrida  $sp^3$ , atom-atom silikon berikan kovalen satu sama lain, dengan bilangan koordinasi empat, artinya setiap atom silikon dikelilingi oleh empat buah atom silikon tetangga terdekat. Keadaan ini menghasilkan kristal yang berstruktur intan (bangunan tetrahedral).

Gambar 2.1 memperlihatkan gambaran kristal silikon dalam dua dimensi. Pada temperatur 0 K, semua elektron menempati orbital-orbital ikatan dalam keadaan terikat. Susunan ini memberikan keadaan struktur pita energi sebagai berikut; pita valensi terisi penuh elektron dan pita konduksi kosong, sehingga pada bahan semikonduktor tidak terjadi aliran arus listrik walaupun diberikan medan listrik.

Pada temperatur yang lebih tinggi, misalnya pada temperatur kamar (300K). Sebagian elektron dipita valensi memiliki energi yang cukup untuk bereksitasi ke pita konduksi. Hasilnya terdapat elektron pada pita konduksi dan tercipta lubang pada pita valensi. Terciptanya lubang ini oleh karena terbentuk kekosongan muatan sebagai akibat eksitasi elektron antar pita, dari valensi ke konduksi. Baik elektron dalam pita konduksi maupun lubang dalam pita valensi dapat bergerak bila pada semikonduktor tersebut diberikan medan listrik. Dengan kata lain, dalam keadaan intrinsik ini (tanpa ketakmurnian) aliran listrik dalam semikonduktor dihantarkan oleh elektron dan lubang.



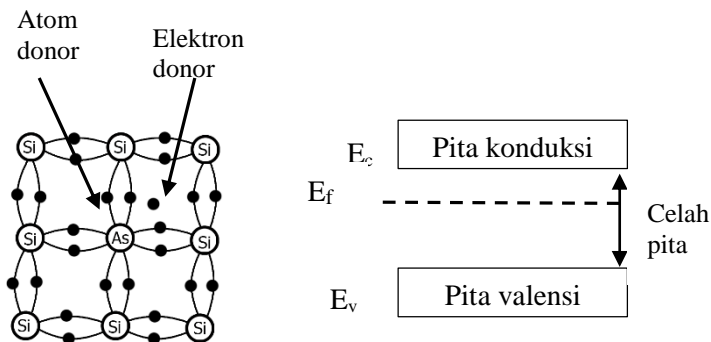
**Gambar 2. 1 Kristal silikon dua dimensi dan struktur pita energi**

## 2.4 Semikonduktor Ektrinsik

Berbeda dengan semikonduktor intrinsik, pada semikonduktor ekstrinsik jenis pembawa muatan hanya salah satu saja yang dominan, elektron atau lubang. Semikonduktor ekstrinsik dengan pembawa muatan mayoritas lubang disebut semikonduktor tipe-p. Sedangkan semikonduktor ekstrinsik dengan pembawa muatan mayoritas elektron disebut semikonduktor tipe-n.

### 2.4.1 Semikonduktor Tipe-n

Pada semikonduktor tipe ini, bahan intrinsik seperti silikon memerlukan ketakmurnian atom yang mempunyai elektron valensi lebih dari empat. Ini dimaksudkan agar ada elektron sisa dalam membentuk ikatan dan dengan demikian elektron tersebut dapat berkoordinasi (menjadi elektron bebas).



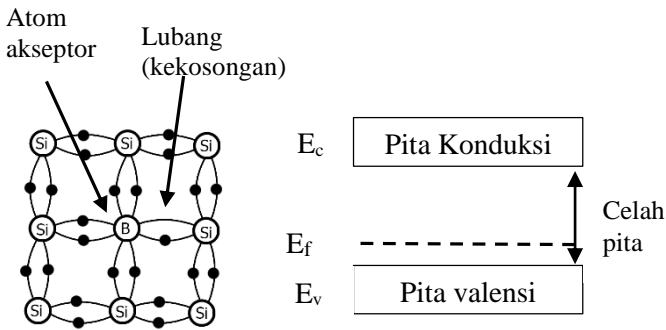
**Gambar 2. 2 (a) Kristal silikon dengan ketakmurnian Arsen (b) Struktur pita energi**

Atom-atom pengotor dalam hal ini yang sering dipakai adalah Posfor (P) atau Arsen (As) yang bervalensi lima dalam konsentrasi berorde ppm.

Pada Gambar 2.2 ditunjukkan kristal silikon dengan ketakmurnian serta pita energinya. Dari gambar tersebut tampak bahwa energi Fermi bergeser mendekati pita konduksi oleh kehadiran tingkat energi donor. Sebelum atom-atom donor terionisasi, tingkat energi donor terisi elektron yang merupakan elektron ke lima dari setiap atom donor (pemberi elektron). Bila atom donor terionisasi, elektron tereksitasi dari tingkat donor ke pita konduksi. Di pihak lain, eksitasi dari pita valensi tetap terjadi meskipun dalam intensitas yang kecil. Walaupun jumlahnya lebih sedikit eksitasi ini menghasilkan lubang pada pita valensi. Sementara itu, pada pita konduksi terdapat elektron yang jumlahnya jauh lebih banyak. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa dalam semikonduktor tipe-n elektron sebagai pembawa muatan mayoritas sedangkan lubang merupakan pembawa muatan minoritas.

### **2.4.1 Semikonduktor Tipe-p**

Kebalikan dari semikonduktor tipe-n, pada semikonduktor tipe-p atom-atom yang ditambahkan sebagai ketakmurnian adalah atom dengan valensi lebih kecil dari empat. Pada Gambar 2.3 ditunjukkan kristal silikon yang mengandung atom ketakmurnian bervalensi tiga (boron, galium) dan struktur pita yang dihasilkannya. Dari Gambar 2.3 terlihat bahwa tingkat energi Fermi bergeser mendekati pita valensi, karena adanya tingkat energi akseptor. Bergesernya tingkat energi ini, karena adanya kekurangan elektron pada atom ketakmurnian. Bila atom ketakmurnian terionisasi, atom-atom ini akan mendapatkan elektron dari elektron-elektron yang terikat pada pita valensi. Oleh karena itu, atom ketakmurnian disebut atom akseptor (penerima elektron). Elektron yang tereksitasi ke tingkat akseptor meninggalkan lubang pada pita valensi. Seperti halnya semikonduktor tipe-n, elektron juga mungkin tereksitasi ke pita konduksi meskipun dengan probabilitas yang kecil. Dengan mekanisme ini dihasilkan elektron bebas pada pita konduksi dalam jumlah yang jauh lebih kecil daripada jumlah lubang pada pita valensi. Jadi dalam semikonduktor tipe-p pembawa muatan mayoritas adalah lubang dan pembawa minoritas adalah elektron.



**Gambar 2. 3 (a) Kristal silikon dengan ketakmurnian Boron (b) struktur pita energi**

## 2.5 Efek *Thermoelectric*

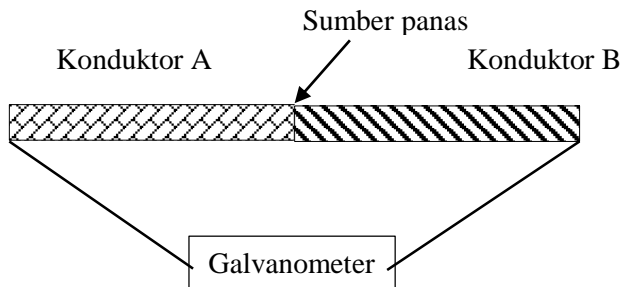
Efek *thermoelectric* pertamakali ditemukan pada tahun 1821 oleh T.J. Seebeck. Dia menunjukkan bahwa gaya gerak listrik (*electromotive force*) dapat di peroleh dengan memanaskan sambungan antara dua konduktor listrik yang berbeda. Efek Seebeck dapat diperagakan dengan membuat sambungan antara dua kawat konduktor logam yang berbeda (misal, besi dan tembaga). Pada kedua ujung dari kawat disambungkan dengan terminal galvanometer atau voltmeter yang sensitif, apabila sambungan kawat dipanaskan, maka voltmeter akan membaca sebuah tegangan kecil. Susunan peragaan tersebut ditunjukkan dalam Gambar. 2.4. Kedua kawat konduktor terhubung tersebut membentuk *thermocouple*. Pada percobaan diperoleh bahwa nilai tegangan *thermoelectric* sebanding dengan beda temperatur pada sambungan *thermocouple*.

Tiga belas tahun setelah Seebeck membuat penemuannya, J. Peltier, seorang pembuat jam dari Perancis melakukan pengamatan terhadap efek *thermoelectric*. Dia menemukan bahwa perpindahan



arus listrik melewati *thermocouple* menghasilkan efek pemanasan atau pendinginan yang bergantung pada arah arus tersebut. Efek Peltier cukup sulit untuk diperagakan menggunakan *thermocouple* logam karena selalu disertai efek pemanasan Joule. Jika menggunakan pengaturan seperti ditunjukkan pada Gambar.2.4, efek Peltier dapat di peragakan, pada prinsipnya, dengan mengganti alat ukur dengan sumber arus langsung dan menempatkan termometer pada sambungan *thermocouple*.

Keterkaitan antara efek Seebeck dan Peltier pertama diperkenalkan oleh W. Thomson pada tahun 1855. Dengan menerapkan teori termodinamika pada masalah ini, ia mampu membangun hubungan antara koefisien yang menggambarkan efek Seebeck dan Peltier. Dalam teorinya juga menunjukkan bahwa harus ada efek *thermoelectric* yang ketiga, yang ada pada konduktor yang homogen. Efek ini, saat ini dikenal sebagai efek Thomson.



**Gambar 2. 4 Percobaan untuk memperagakan efek Seebeck dan efek Peltier**

Efek Seebeck dan efek Peltier hanya dapat terjadi pada sambungan konduktor yang tidak sama. Saat ini, diketahui bahwa arus listrik dapat mengalir dalam konduktor yang berarti bahwa elektron dapat memiliki energi berbeda dalam material yang berbeda. Ketika elektron melintas dari satu material ke material lain, energi yang terpindahkan oleh elektron berubah, perbedaan

tampak sebagai pemanasan atau pendinginan pada bagian sambungan sebagaimana efek Peltier. Demikian juga, ketika sambungan dipanaskan, elektron dapat melepaskan diri dari keadaan energi yang lebih tinggi dalam material menuju keadaan energi yang lebih rendah dalam material yang lain.

Hasil penelitian Thomsons menunjukkan bahwa termokopel merupakan mesin panas dan ia secara prinsip dapat digunakan sebagai pembangkit listrik dari panas atau sebaliknya. Akan tetapi, karena efek *thermoelectric* yang *reversible* selalu disertai fenomena *irreversible* dari pemanasan Joule dan konduksi panas, maka termokopel secara umum menjadi kurang efisien.

Persoalan konversi energi menggunakan termokopel telah diamati oleh Altenkirch pada tahun 1911. Dia menunjukkan bahwa kinerja dari termokopel dapat diperbaiki dengan meningkatkan nilai koefisien diferensial Seebeck dengan meningkatkan konduktivitas listrik dari dua penghantar yang digunakan dan menurunkan konduktivitas panasnya. Meskipun efek Seebeck telah sejak 1821 digunakan untuk pengukuran temperatur dan deteksi radiasi termal. Baru pada tahun 1950 diperkenalkan semikonduktor sebagai material *thermoelectric*. Penggunaan termokopel berbahan semikonduktor sebagai bahan *thermoelectric* menghasilkan efisiensi konversi yang cukup tinggi pada penerapan khusus. Akan tetapi kemampuan *thermoelectric* sebagai konverter energi masih cukup rendah dibandingkan dengan mesin lain.

## **2.6 Prinsip Kerja *Thermoelectric***

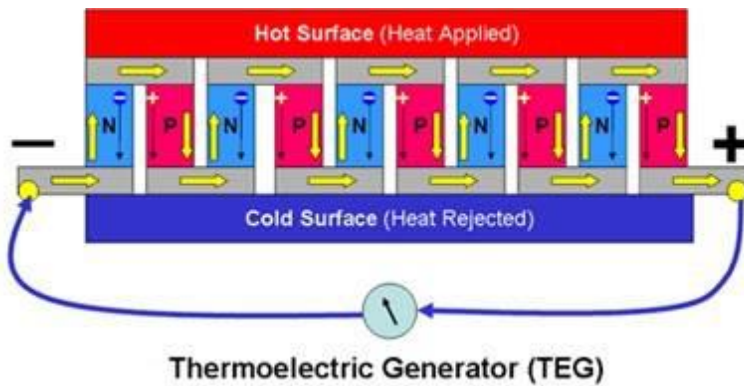
Kerja *thermoelectric* didasarkan pada efek Seebeck, yaitu jika dua buah material logam yang dihubungkan memiliki temperatur yang berbeda maka dalam material tersebut akan terdapat gaya gerak listrik yang mengakibatkan pergerakan elektron (arus listrik). Penggunaan *thermoelectric* relatif lebih ramah lingkungan, tahan lama (S.L.Soo, 1968). Pada perkembangannya material *thermoelectric* menggunakan material semikonduktor. Struktur *thermoelectric* dapat dilihat dalam Gambar 2.5. Pada gambar

tersebut ditunjukkan sturktur *thermoelectric* yang tersusun dari elemen semikonduktor tipe-p dan tipe-n yang memisahkan dua lempeng. Dalam pengoperasiannya, dua lempeng (pada gambar, atas dan bawah) diatur memiliki temperatur yang berbeda sehingga panas akan berpindah dari satu lempeng ke lempeng lain. Transfer panas tersebut mengakibatkan adanya beda potensial. Apabila batang logam dipanaskan dan didinginkan pada dua buah kutub logam, elektron pada sisi panas logam akan bergerak aktif dan memiliki kecepatan aliran yang lebih tinggi dibandingkan dengan sisi dingin logam. Dengan gerak elektron yang lebih tinggi di bagian yang lebih panas, maka elektron-elektron akan terdifusi ke sisi yang lebih dingin. Di dalam *thermoelectric* semikonduktor terdapat susunan elemen-elemen semikonduktor tipe-p dan tipe-n yang membentuk sambungan-sambungan yang dihubungkan pada rangkaian listrik tertutup seperti pada Gambar.2.5. Perbedaan temperatur yang terjadi pada kedua lempeng memberikan perbedaan temperatur pada tiap elemen semikonduktor dan sambungan. Dari perbedaan temperatur tersebut dihasilkan perpindahan elektron dari sisi panas menuju sisi dingin. Beda potensial yang dihasilkan dapat ditentukan dengan persamaan

$$\Delta V = \int_{T_1}^{T_2} a \, dT,$$

keterangan:

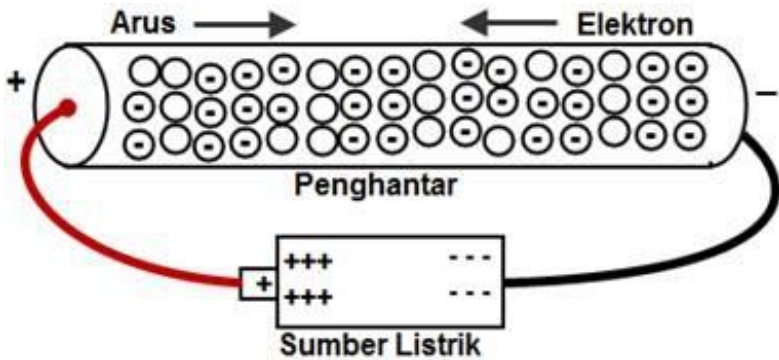
$a$	= koefisien seebeck (mV/K)
$\Delta V$	= beda potensial (mV)
$dT$	= perbedaan temperatur (K)



**Gambar 2. 5** *Thermoelectric Genrator* berbahan semikonduktor

## 2.7 Arus dan Tegangan

Arus listrik didefinisikan sebagai banyaknya muatan listrik yang melintasi penampang melintang dalam satu satuan waktu. Arus listrik dapat terjadi akibat adanya gaya gerak listrik yang menarik elektron. Gaya gerak listrik yang dimaksud adalah gaya Coulumb atom-atom penyusun suatu bahan. Pada kenyataannya yang dapat dipahami dari peristiwa arus, yang mengalami perpindahan saat terdapat gaya gerak listrik adalah elektron yang bermuatan negatif, bukan muatan proton yang bermuatan positif. Akan tetapi, karena setiap elektron yang berpindah dari suatu posisi, elektron tersebut akan meninggalkan satu tempat dalam tingkat energi yang disebut hole, maka dapat pula dipandang terdapat pergerakan hole-hole setelah ditinggalkan elektron yang memiliki arah berlawanan dengan arah arus elektron. Dalam kesepakatannya arus listrik dipandang dari sisi pergerakan hole. Hal tersebut selaras dengan arah pergerakan muatan yang berpindah dari potensial yang lebih tinggi (lebih positif) ke potensial yang lebih rendah (lebih negatif).



**Gambar 2. 6** Gambaran aliran arus dalam sebuah penghantar

Gambar 2.6 di atas memberi gambaran sumber tegangan listrik yang disambungkan ke sebuah penghantar. Setelah penghantar tersambung dengan kutub positif dan kutub negatif sumber tegangan, muatan-muatan negatif penghantar akan tertarik oleh muatan-muatan positif sumber tegangan dan meninggalkan hole-hole dalam penghantar, akan tetapi keberadaan hole-hole tersebut tidaklah bertahan lama karena setelah ditinggalkan elektron hole-hole tersebut akan terisi elektron-elektron lain yang tertarik oleh keberadaan hole. Di dekat kutub negatif sumber tegangan, hole-hole yang terbentuk akan terisi oleh elektron-elektron yang berasal dari sumber tegangan. Dalam konsepnya besaran arus listrik dinyatakan dengan nilai muatan yang melintas, namun kuantitas muatan bukan satuan yang praktis karena harganya terlalu kecil. Sehingga satuan yang digunakan adalah muatan yang melintasi penampang melintang tiap satuan waktu. Arus listrik secara matematis dinyatakan

$$i = \frac{dq}{dt} \dots\dots\dots 2.1$$

Arus listrik dapat dianalogikan aliran air. Misal terdapat 2 tabung yang dihubungkan dengan pipa, seperti pada Gambar 2.6. Apabila kedua tabung berada pada ketinggian yang sama, maka tidak ada

aliran air. Akan tetapi apabila salah satu tabung berada lebih tinggi dari tabung lain, maka air akan mengalir dari tabung yang lebih tinggi ke tabung yang lebih rendah. Semakin tinggi perbedaan ketinggian, maka akan semakin deras aliran air melalui pipa. Perbedaan ketinggian tabung tersebut analog dengan perbedaan potensial listrik antara dua buah titik. Apabila kedua titik tersebut dihubungkan sebuah penghantar, maka akan ada arus listrik yang mengalir dari potensial yang lebih tinggi menuju potensial yang lebih rendah. Besarnya arus tersebut akan bergantung besarnya beda potensial antara kedua titik. Secara matematis potensial listrik suatu titik dinyatakan:

$$V = \frac{dw}{dq} \dots\dots\dots 2.2$$

## 2.8 Daya Listrik

Apabila suatu beda potensial dikenakan pada dua titik pada bahan sehingga dihasilkan arus, maka energi yang diberikan ke masing-masing elektron yang bergerak sebanding dengan beda potensial tersebut. Dengan demikian, total energi yang diberikan ke sejumlah elektron yang menghasilkan muatan sebesar  $dq$  adalah sebanding dengan  $Vdq$ . Energi yang diberikan pada elektron persatuan waktu didefinisikan sebagai daya listrik (  $P$  ) yang dinyatakan:

$$P = \frac{dw}{dt}$$

$$P = \frac{dw}{dq} \frac{dq}{dt}$$

$$P = V.I$$

$$P = I^2 R$$

dengan,

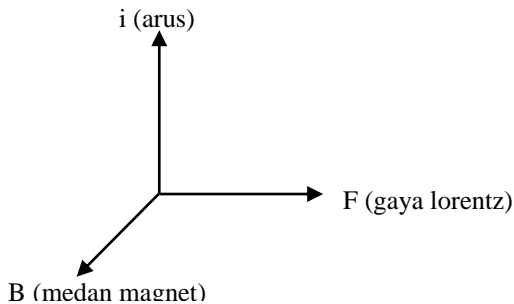
$P$  = daya listrik (W)

$V$  = tegangan (V)

$I$  = arus (I)  
 $R$  = hambatan ( $\Omega$ )

## 2.9 Sensor Arus

Umumnya besar arus pada sebuah rangkaian diketahui dengan menggunakan pengukur arus (Amperemeter) dengan cara menghubungkan alat ukur dalam rangkaian secara seri. Dalam praktik di kehidupan sehari-hari, terdapat rangkaian listrik yang menggunakan arus atau tegangan yang tinggi mencapai orde ratusan ribu volt. Pada rangkaian seperti itu, pengukuran dengan cara menghubungkan amperemeter ke dalam rangkaian adalah sesuatu yang berbahaya atau merusak peralatan. Dibutuhkan peralatan dengan ketahanan yang tinggi agar peralatan tidak rusak. Sehingga dibutuhkan metode pengukuran yang dapat dilakukan tanpa harus menghubungkan alat ukur ke dalam rangkaian, yaitu dengan menggunakan sensor arus. Secara umum sensor arus terdiri dari rangkaian sensor efek Hall. Kerja sensor efek Hall didasarkan pada hubungan medan magnet dan listrik. Diketahui bahwa apabila sebuah muatan listrik bergerak didalam medan magnet, maka akan dihasilkan gaya lorentz yang mendorong muatan listrik tersebut ke arah tegak lurus terhadap arah gerak muatan dan arah medan magnet.



**Gambar 2. 7 Gaya lorentz yang dihasilkan oleh arus  $i$  dalam medan magnet  $B$**

## **2.10 Sensor Tegangan**

Untuk mengetahui beda tegangan antara dua titik dalam rangkaian dapat digunakan pembagi tegangan. Dalam rangkaian pembagi tegangan digunakan beberapa resistor yang dihubungkan secara seri dan perhitungan dapat dilakukan mengikuti hukum *Kirchoff Voltage Law* (Paul, 1996).



## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Alat dan Bahan**

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah:

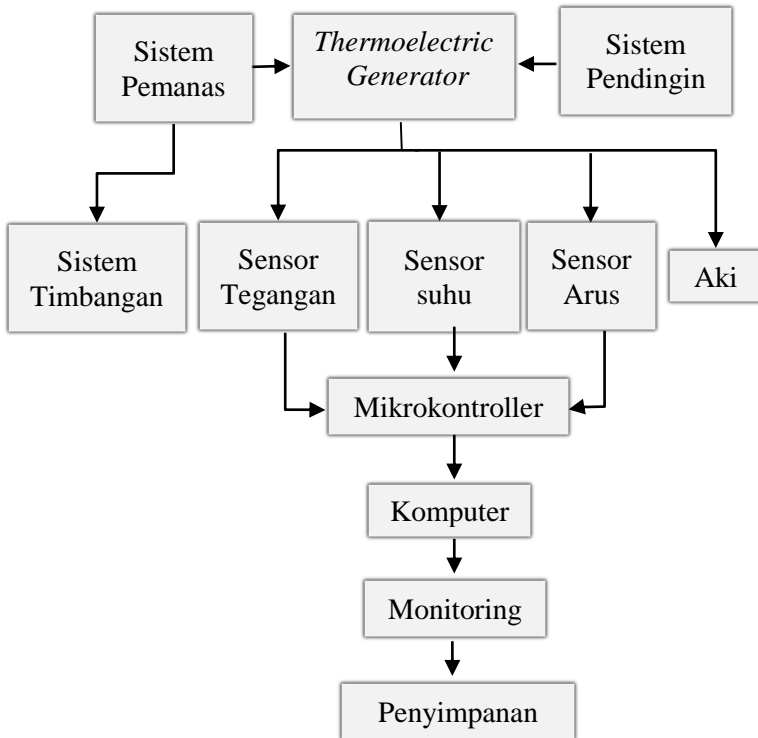
TEG SP184827145SA	Pasta Termal
Aquarium	Resistor Keramik
Pompa Air	Kompur LPG
Thermokopel type K	Tabung gas LPG
Waterblock	Sistem Burner kompor
Multimeter	Thermometer ULTRON
Kabel	TM-903A
Arduino uno	Aki 6Volt 4,5 Ah
Power supply DC	Kotak penutup udara
Max6675	Laptop
ACS712	

#### **3.2 Prosedur Eksperimen**

##### **3.2.1 Perancangan Umum Sistem**

Secara umum, sistem perangkat dalam penelitian tugas akhir ini terdiri dari dua bagian yaitu sistem perangkat keras dan sistem perangkat lunak. Sistem perangkat keras (*hardware*) terdiri dari sistem pemanas, sistem pendingin, rangkaian *Thermoelectric Generator*, sistem timbangan dan sistem sensor. Tiga buah *Thermoelectric Generator* yang dirangkai secara seri menerima panas dari sistem pemanas dan terdinginkan pada sisi yang lain oleh sistem pendingin. Sistem sensor membaca perbedaan temperatur antara kedua sisi, tegangan dan arus yang dihasilkan *Thermoelectric Generator* untuk diolah dalam perangkat lunak. Sistem perangkat lunak (*software*) terdiri dari program pembacaan tegangan, program pembacaan arus, dan program pembacaan

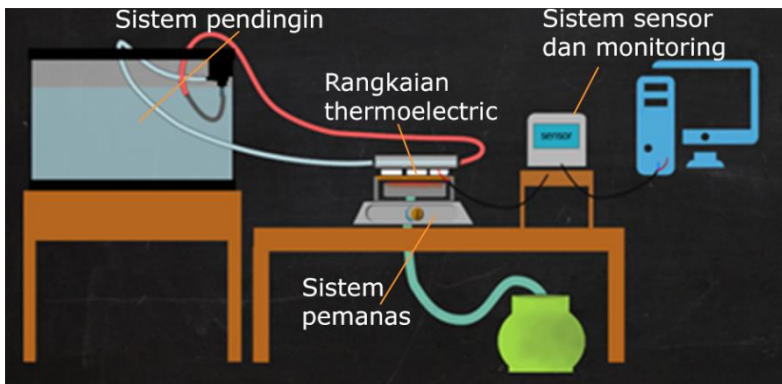
temperatur yang digunakan untuk pengamatan dan penyimpanan data tegangan, arus dan temperatur hasil pengukuran sistem sensor. Berikut diagram sistem secara umum:



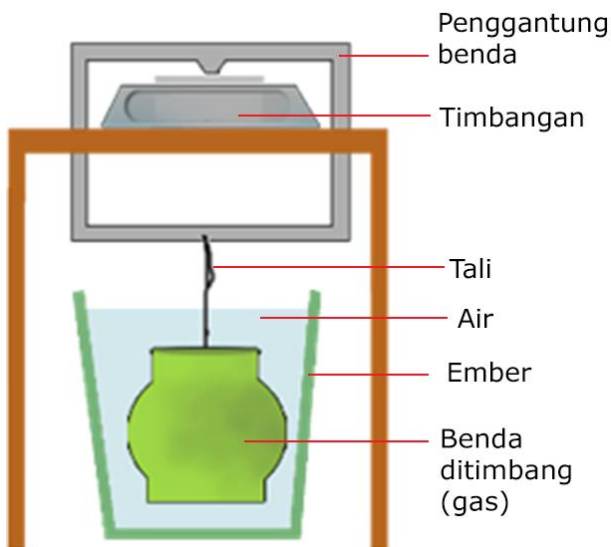
**Gambar 3. 1 Diagram rancangan umum sistem**

### **3.2.2 Perancangan Alat**

Peralatan dalam penelitian ini dirangkai seperti dalam gambar berikut:



(a)



(b)

**Gambar 3. 2 (a) Rangkaian sistem sensor, sistem pemanas, sistem pendingin dan rangkaian thermoelectric. (b) Sistem timbangan**

### 3.2.2.1 Sistem Pemanas

Sistem pemanas pada penelitian ini terdiri dari empat bagian utama yaitu tabung gas LPG 3 kg, Rangka badan kompor gas, tungku bakar (*burner*), dan lempeng tembaga. Tabung gas berfungsi sebagai penyimpanan gas sebelum dibakar. Gas dari tabung dialirkan ke tungku bakar melalui selang. Diantara selang dan burner dipasang katup pengatur aliran gas yang terpasang pada rangka badan kompor. Tungku bakar dibuat dari potongan rusuk bangunan berbahan aluminium berbentuk kotak persegi panjang. Pada salah satu sisinya dibuat dua puluh satu lubang kecil dengan formasi tiga baris dan tujuh kolom. Antara lubang satu dan lubang terdekat dalam satu baris atau kolom, diberi jarak 2 cm. Dengan formasi tersebut api yang diperoleh tersebar pada luasan  $4 \times 12 \text{ cm}^2$ . Api-api tersebut berfungsi sebagai sumber panas. Diatas api-api tersebut dipasang lempeng tembaga seluas  $15 \times 20 \text{ cm}^2$ . Di bagian tengah lempeng diberikan luasan  $4 \times 12 \text{ cm}^2$  sebagai tempat modul *Thermoelectric* ditempelkan. Selain luasan tersebut ditempelkan *aluminium foil* sebagai penutup panas sehingga panas yang terlepas dari lempeng optimal pada bagian modul *Thermoelectric* ditempelkan.

### 3.2.2.2 Sistem Pendingin

Sistem pendingin pada penelitian ini disusun dari kotak akuarium, pompa air, dan *water block*.. Sistem pendingin ini bekerja dengan memompa air dari akuarium melalui selang menuju *water block* dan kembali ke akuarium. Pada proses pendinginan, *Water block* ditumpangkan diatas TEG. Temperatur air akuarium dipertahankan sekitar temperatur ruang.. Pada saat didalam *water block*, air memiliki temperatur yang lebih rendah dari pada permukaan modul *Thermoelectric* sehingga pada saat berada dalam *water block*, panas berpindah dari permukaan modul *Thermoelectric* ke dinding *water block* dan berpindah ke air.

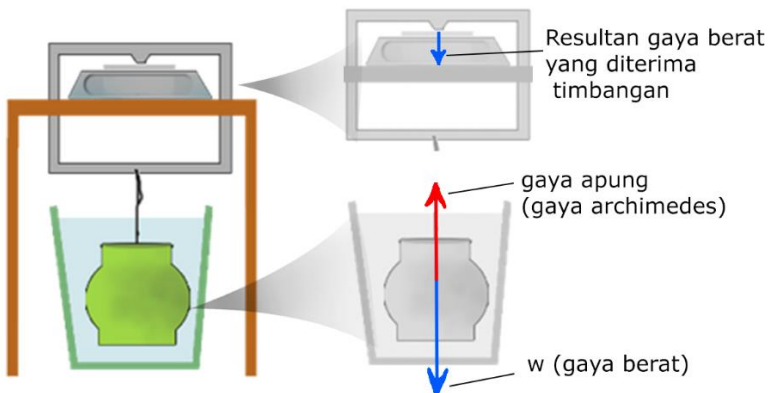
### 3.2.2.3 Sistem Sensor

Sistem sensor yang digunakan pada penelitian ini terediri dari tiga jenis sensor dan modul yaitu:

*Thermocouple* tipe K dengan modul MAX6675, modul ACS712 sebagai sensor arus dan rangkaian seri dua resistor sebagai pembagi tegangan. Pada pembacaan temperatur digunakan dua buah sensor dan modul yang masing-masing digunakan dalam pembacaan temperatur permukaan modul *Thermoelectric* yang menempel pada lempeng tembaga dan temperatur modul yang menempel pada *water block*.

### 3.2.2.4 Sistem Timbangan

Sistem timbangan dibuat untuk memenuhi kebutuhan pengukuran perubahan massa dalam orde 1 gram dari benda yang bermassa 10 Kg atau lebih. Sistem timbangan pada penelitian ini terdiri dari bagian-bagian yang digambarkan dalam gambar berikut:



**Gambar 3. 3 Kerja bagian-bagian sistem timbangan**

Sebuah timbangan memiliki rentang nilai pengukuran. Apabila massa benda melebihi nilai maksimum yang dapat diukur maka nilai yang terukur menjadi tidak akurat atau dapat merusak timbangan. Timbangan yang digunakan dalam penelitian ini memiliki ketelitian hingga 0,02 gram akan tetapi batas maksimum pengukuran hanya sampai 600 gram. Massa tabung gas yang mencapai 8 Kg tidak dapat diukur dengan timbangan tersebut, sehingga dibuat sistem timbangan yang bekerja dengan mengurangi gaya berat benda yang ditimbang dengan gaya apung (gaya archimedes). Hasil dari pengurangan gaya tersebut, gaya berat yang diterima timbangan masih dalam rentang nilai yang dapat diterima timbangan. Dengan timbangan tersebut, massa yang terukur bukanlah massa yang sebenarnya, akan tetapi selisih massa terukur dari dua pengukuran apabila terjadi perubahan massa adalah perubahan massa yang sebenarnya. Secara matematik dapat diuraikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\overline{w} &= m_{benda} \cdot \overline{g} = \rho_{benda} \cdot v_{benda} \cdot \overline{g} \\ \overline{F}_a &= m_{air} \cdot \overline{g} = \rho_{air} \cdot v_{air} \cdot \overline{g}\end{aligned}$$

dengan

$\overline{w}$  = gaya berat benda

$\overline{F}_a$  = gaya apung

$\sum \overline{F}$  = resultan gaya yang diterima  
timbangan

$\overline{g}$  = percepatan gravitasi

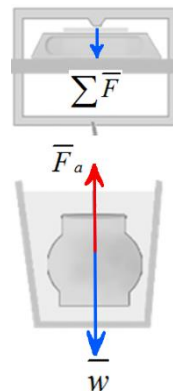
$\rho$  = massa jenis

$m$  = massa

$v_{air}$  adalah volume air terpindah ketika benda dimasukkan kedalam air sehingga

$$v_{air} = v_{benda}$$

Pengukuran pertama:



**Gambar 3. 4 Gaya-gaya yang bekerja pada sistem timbangan**

$$\sum \overline{F}_1 = \overline{w}_1 - \overline{F}_{a1}$$

Pengukuran kedua:

$$\sum \overline{F}_2 = \overline{w}_2 - \overline{F}_{a2}$$

Selisih nilai dua pengukuran:

$$\sum \overline{F}_2 - \sum \overline{F}_1 = (\overline{w}_2 - \overline{F}_{a2}) - (\overline{w}_1 - \overline{F}_{a1})$$

Apa bila benda yang diukur tidak mengalami perubahan volume, maka

$$\overline{F}_{a2} = \overline{F}_{a1}$$

sehingga

$$\begin{aligned} \sum \overline{F}_2 - \sum \overline{F}_1 &= (\overline{w}_2 - \overline{F}_{a1}) - (\overline{w}_1 - \overline{F}_{a1}) \\ &= \overline{w}_2 - \overline{w}_1 \\ &= (m_{2 \text{ benda}} - m_{1 \text{ benda}}) \cdot \overline{g} \\ &= \Delta m \cdot \overline{g} \end{aligned}$$

$$\sum \overline{F}_2 - \sum \overline{F}_1 = \Delta m \cdot \overline{g} = \text{perubahan gaya berat yang diterima}$$

timbangan akibat perubahan massa dan

$\Delta m$  = perubahan massa benda

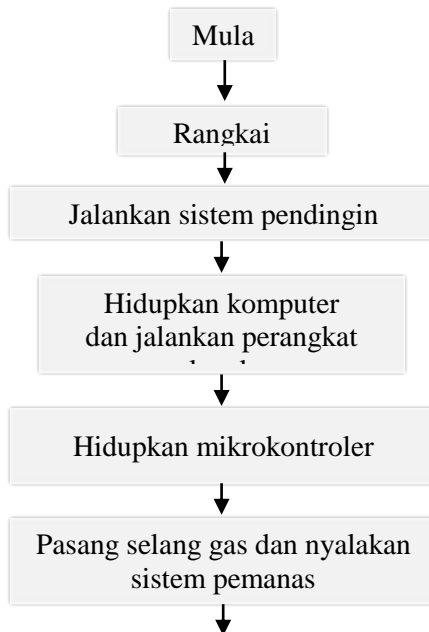
### 3.3 Pengisian Aki

Setelah dipanaskan di satu sisi dan didinginkan disisi lain, Modul *Thermoelectric* menghasilkan tegangan pada dua elektrodanya. Apabila antara kedua elektroda tersebut dihubungkan sebuah beban membentuk rangkaian listrik tertutup, maka arus listrik mengalir melalui rangkaian. Pada penelitian ini tegangan tersebut dimanfaatkan untuk mengisi aki. Aki yang digunakan memiliki tegangan 6Volt berkapasitas 4,5Ah. Sebelum

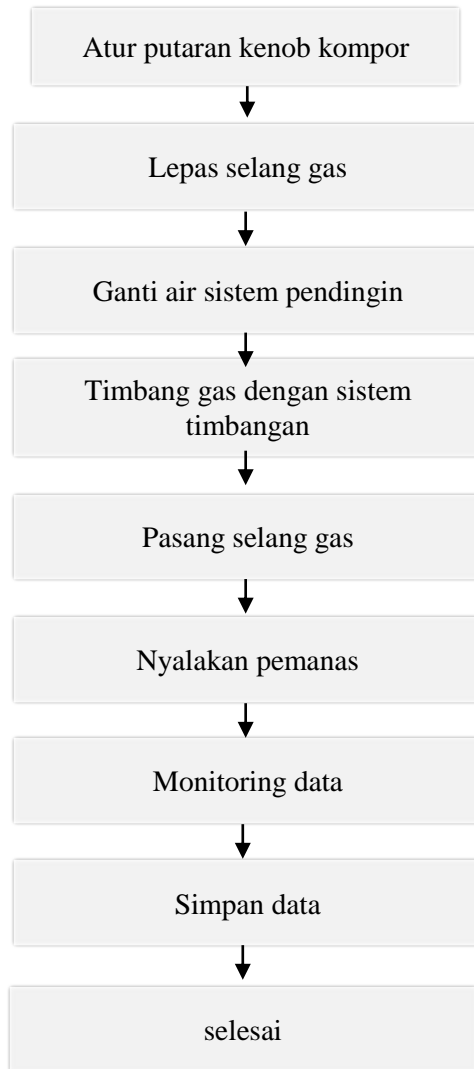
pengisian, harus tercapai terlebih dahulu tegangan antara kedua elektroda melebihi tegangan maximum pada aki.

### 3.4 Pengambilan Data

Data pada penelitian ini meliputi massa gas lpg yang terpakai selama satu jam, distribusi temperatur lempeng, temperatur dua sisi *thermoelectric* selama pemanasan, beda temperatur dua sisi thermoelectric, tegangan terhadap waktu, tegangan terhadap perbedaan temperatur, tegangan terhadap arus pada pembebanan, tegangan dan arus terhadap waktu pada pengisian aki. Langkah pengambilan data diuraikan dalam diagram alir berikut:







**Gambar 3. 5 Diagram pengambilan data**

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

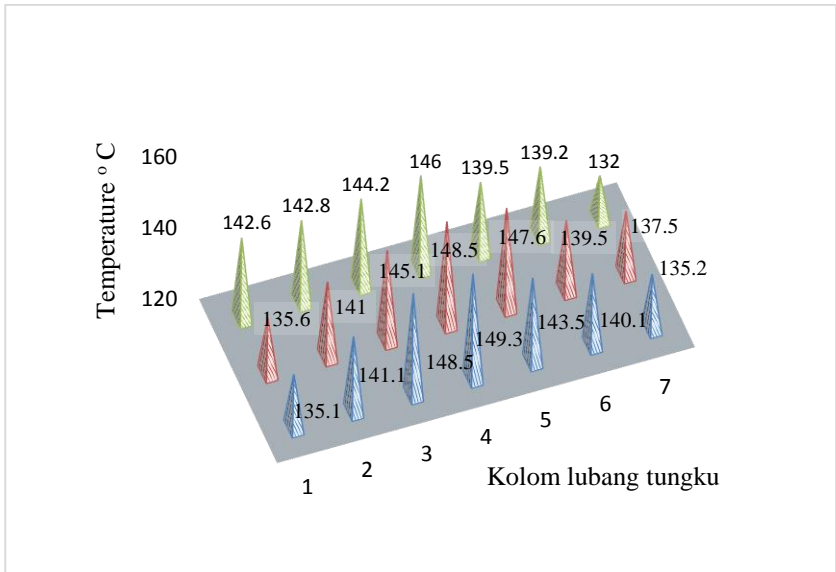
## **BAB IV**

### **DATA DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Pengujian Sistem Pemanas**

Pada penelitian ini, Modul TEG SP184827145SA ditempelkan pada lempeng tembaga yang dipanaskan. Sebelum dilakukan pemanasan, perlu diketahui karakteristik pemanas dengan mengukur temperatur lempeng dimana TEG SP184827145SA ditempatkan. Pengukuran temperatur dilakukan pada 21 titik yang bersesuaian dengan 21 api tungku. Temperatur lempeng tembaga sistem pemanas pada penelitian ini dipengaruhi beberapa faktor yaitu derajat putar kenob kompor gas, jarak lempeng terhadap tungku dan keadaan lingkungan sistem pemanas. Sehingga pengukuran temperatur dilakukan pada nilai ketiga faktor tersebut yang ditetapkan. Jarak antara lempeng dengan tungku kompor dapat diukur dengan jangka sorong. Besar api pembakaran dan keadaan lingkungan tidak dapat diukur secara langsung. Akan tetapi besar api pembakaran berkaitan secara langsung dengan putaran kenob kompor gas sehingga pada penelitian ini faktor besar api pembakaran diwakili oleh derajat putar kenob kompor gas. Keadaan lingkungan yang dapat mempengaruhi temperatur lempeng adalah hembusan angin. Karena objek yang menjadi sumber panas pada sistem pemanas pada penelitian ini adalah api, maka hembusan angin dari lingkungan ke sistem pemanas dapat menggoyang api. Ketika api tergoyang, arah tegak api menjadi tidak lurus keatas menghadap lempeng dan pemanasan menjadi tidak optimal. Sehingga pada penelitian ini, sistem pemanas ditambahkan kotak penahan angin berukuran 50cm x 60 cm x 130cm. Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, bahwa TEG SP184827145SA beroperasi optimal pada perbedaan temperatur antara dua permukaan modul sekitar 100 °C. Berdasarkan hasil tersebut, target dari pemanasan adalah temperatur lempeng mencapai kesetimbangan pada temperatur 130 °C sehingga diperoleh perbedaan temperatur 100 °C dengan temperature

lingkungan yang bernilai 28–33 °C. Dari pengukuran yang telah dilakukan, diketahui jarak antara lempeng dengan tungku yang menghasilkan 130 °C sekurang-kurangnya adalah 2 cm. Data yang diperoleh diuraikan dalam grafik berikut:

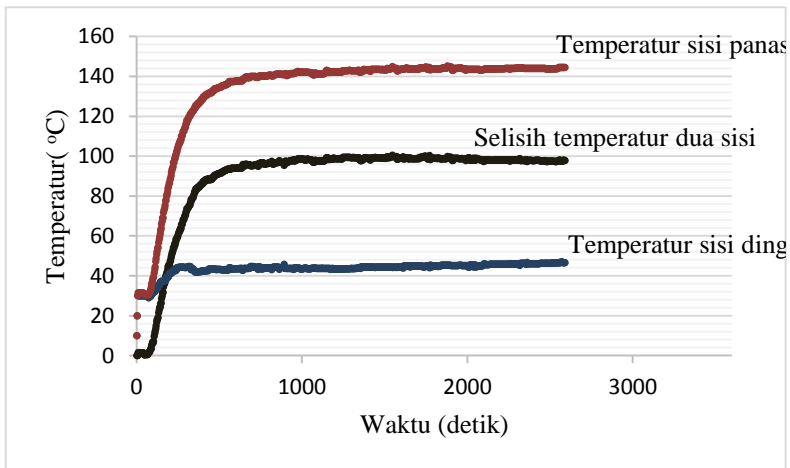


**Gambar 4. 1 Persebaran panas pada titik-titik pemanasan lempeng**

Dari gambar diatas tampak bahwa titik titik yang berada di kolom empat memiliki temperatur yang lebih tinggi dibandingkan dengan titik api yang berada di pinggir. Hal tersebut disebabkan titik di kolom 4 memiliki jarak 6 cm dari titik-titik yang berada pada kolom 1 dan 6 cm dari titik-titik yang berada di kolom 7. Sedangkan kolom 2, 3, 5, dan 6 berada diantara jarak tersebut. Saat pemanasan, panas dari kolom 1 dan 7, secara konduksi dapat mencapai kolom 4 dan begitu pula semestinya panas dari kolom 2, 3, 5, dan 6 karena memiliki jarak yang lebih dekat. Sedangkan pada bagian pinggir, sebagai contoh titik pad kolom 1, berjarak 6 cm dari kolom 4 dan 12 cm dari kolom 7. Panas dari kolom 4 dan 7, dapat mencapai titik kolom 1 akan tetapi panas dari kolom 7 yang

mencapai kolom 1 lebih kecil dari kolom 4 sehingga jumlah panas yang mencapai titik di kolom 1 akan lebih kecil dibandingkan dengan jumlah panas yang mencapai titik di kolom 4. Oleh sebab itu tampak temperatur lempeng di bagian tengah lebih tinggi dari temperatur yang di bagian pinggir.

Setelah didapatkan pengaturan pemanas yang menghasilkan sebaran panas seperti diatas, dilakukan uji pemanasan pada TEG yang dinyatakan pada grafik berikut:



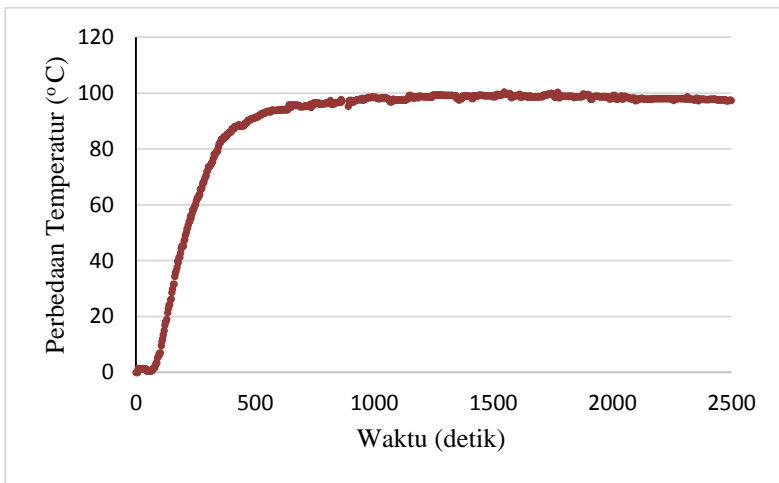
**Gambar 4. 2 Grafik pengujian pemanas**

## **4.2 Karakterisasi TEG SP184827145SA**

Pada tahap ini, dilakukan pengukuran besaran-besaran yang diperoleh dari pemanasan TEG SP184827145SA dan besaran-besaran yang mempengaruhi.

#### 4.2.1 Pengukuran Perbedaan Temperatur Dua Sisi TEG SP184827145SA Terhadap Waktu

Tahap ini dilakukan setelah diperoleh pengaturan derajat putar kenob kompor gas dan jarak antara lempeng tembaga dengan tungku pembakaran sebagai faktor yang mempengaruhi besarnya pemanasan. Dari pengujian pemanas diperoleh pengaturan yang digunakan yaitu jarak 2 cm antara lempeng dan tungku pembakaran dan 30° putaran kenob kompor gas. pengukuran tegangan dimulai dari keadaan awal sebelum pemanas dinyalakan. Pada keadaan awal ini perbedaan temperatur antara dua permukaan TEG SP184827145SA antara 0° hingga 1°. Setelah pemanas dinaikkan, perbedaan temperatur meningkat dan diperoleh tegangan yang meningkat. Beberapa karakteristik pengujian dinyatakan dalam grafik-grafik dibawah:

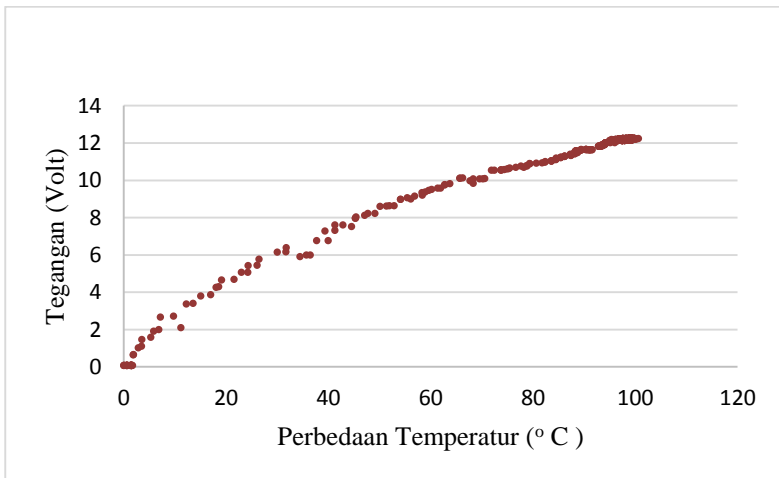


**Gambar 4. 3 Perbedaan temperatur dua sisi *thermoelectric***

Grafik diatas menunjukkan perbedaan temperatur meningkat dengan berjalannya waktu selama proses pemanasan. Dimulai dari

perbedaan temperatur 0 °C meningkat hingga berkisar 100 °C. Setelah 500 detik pengukuran perbedaan temperatur cenderung konstan pada 100 °C hal tersebut disebabkan tercapai kesetimbangan temperatur pada lempeng pemanas sehingga temperatur tidak bertambah lagi. Setelah 2000 detik pengukuran, tampak perbedaan temperatur cenderung turun. Hal tersebut diakibatkan naiknya temperatur pada sisi dingin TEG. Air sebagai bahan pendingin menyerap panas saat melewati waterblock yang menempel pada sisi dingin TEG. Setelah 2000 detik menyerap panas, temperatur air meningkat sehingga selisih antara sisi dingin dan panas berkurang.

#### 4.2.2 Pengukuran Tegangan Keluaran Terhadap Perbedaan Temperatur

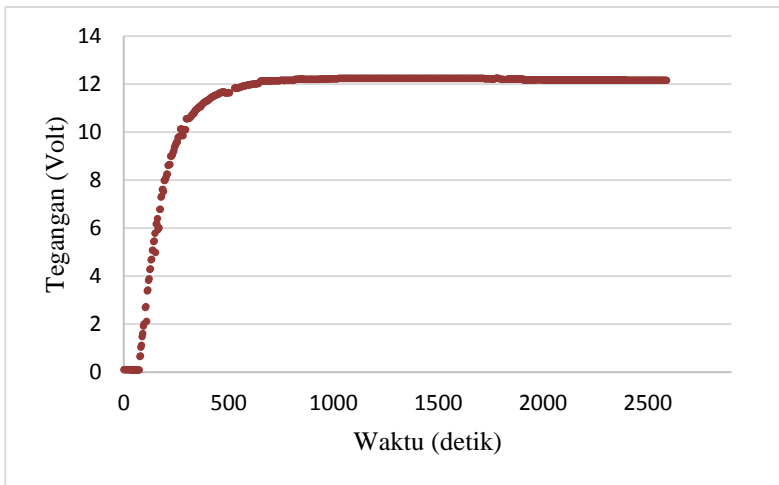


**Gambar 4. 4 Tegangan keluaran TEG sebagai fungsi perbedaan Temperatur**

Dari grafik diatas menunjukkan tegangan berbanding lurus dengan beda temperatur dua sisi *thermoelectric*. Pada perbedaan

temperatur sekitar 100 °C tampak satu nilai perbedaan temperatur memiliki dua atau lebih nilai beda tegangan. Pada saat nilai beda temperatur *melewati* 80 °C, terdapat dua nilai tegangan berbeda, 10 volt-12 volt. Dua nilai berbeda mendekati 2 volt tersebut terjadi akibat gangguan sensor panas sisi dingin. Pada beda temperatur dua sisi TEG sekitar 100 °C tampak nilai tegangan keluaran berubah-ubah disekitar 12 Volt.

#### 4.2.3 Pengukuran Perbedaan Temperatur Dua Sisi TEG SP184827145SA Terhadap Waktu



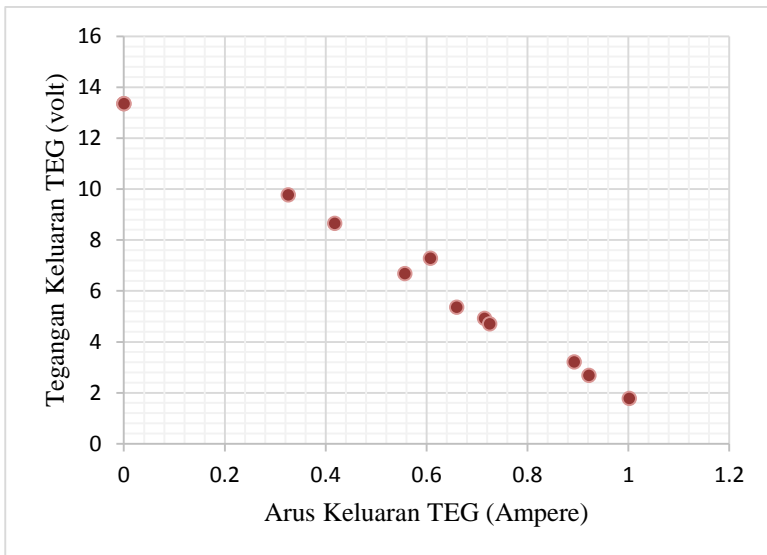
**Gambar 4. 5 Tegangan yang dihasilkan TEG terhadap waktu**

Karena dari grafik hubungan tegangan keluaran terhadap perbedaan temperatur dua sisi *thermoelectric* yang menunjukkan linier, maka bentuk grafik hubungan tegangan yang dihasilkan TEG terhadap waktu dan grafik hubungan beda temperatur dua sisi TEG terhadap waktu hampir sama.



### 4.3 Pembebanan TEG SP184827145SA

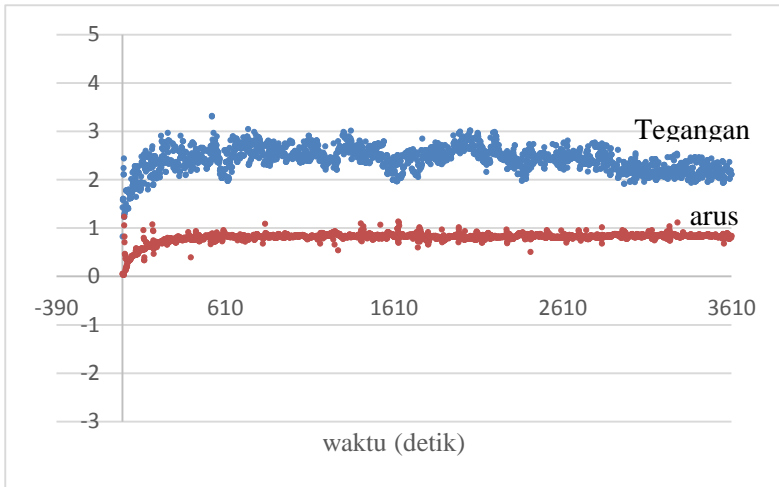
Pengujian pembebanan keluaran bertujuan untuk mengetahui kemampuan TEG SP184827145SA dalam menyuplai listrik. Dalam pengujian ini TEG dihubungkan pada beban berupa resistor yang dirubah-ubah nilai hambatannya.



**Gambar 4. 6 Pembebanan TEG SP184827145SA**

### 4.4 Perubahan Massa dan Energi yang Diperoleh

Pada tahap ini keluaran *thermoelectric* dihubungkan pada resistor 1 ohm. Variabel yang diukur yaitu massa, tegangan, dan arus. Pembebanan dilakukan selama satu jam, dan massa gas yang digunakan diukur sebelum dan setelah konversi. Data arus dan tegangan yang diperoleh dari pengukuran yang telah dilakukan diuraikan dalam grafik berikut:

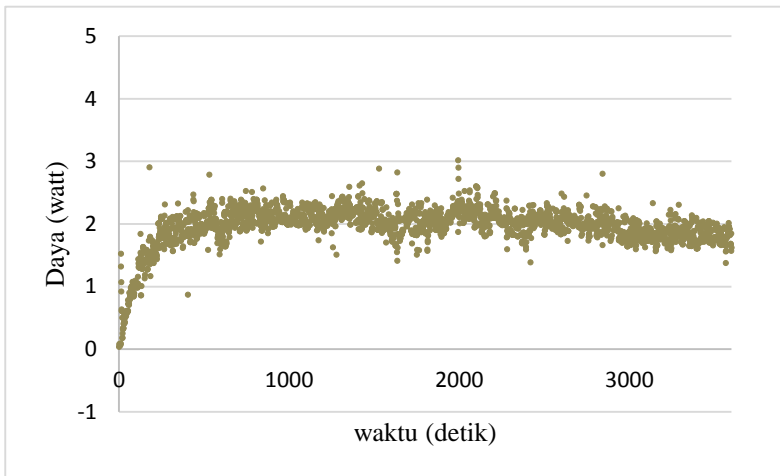


**Gambar 4. 7 Arus dan tegangan konversi gas menjadi listrik**

dari pengukuran yang telah dilakukan, mula-mula arus 0 ampere sebelum dilakukan pemanasan thermoelectric kemudian meningkat sampai rata-rata 0.8 ampere pada detik 500. Selanjutnya diperoleh arus cenderung konstan mendekati 1 ampere hingga detik 3600 pengukuran. Dari grafik diatas tegangan selama pengukuran menunjukkan fluktuasi. Hal tersebut berkaitan dengan karakteristik thermoelectric ketika diberi beban. Fluktuasi arus keluar mengakibatkan tegangan thermoelectric juga berfluktuasi. apabila dikaitkan dengan grafik pembebanan dalam gambar 4.5 diatas, ketika arus rangkaian di 0.7 ampere, tegangan berada pada nilai 2-3 volt. Perubahan kecil di sekitar 0.7 ampere akan menghasilkan fluktuasi tegangan pada nilai 2-3 volt. Hal tersbut yang mengakibatkan nilai tegangan dalam gambar 4.6 berfluktuasi.

Sebagai sumber energi listrik seperti pada sumber-sumber energi listrik lain, thermoelectric memiliki daya maksimum. Ketika

daya yang harus diberikan suatu sumber energi listrik mencapai maksimum, hubungan antara tegangan dan arus menjadi saling berbanding terbalik. Apabila hambatan dalam rangkaian diturunkan dan arus menjadi meningkat, tegangan sumber menjadi turun. Pada pengukuran ini, thermoelectric dihubungkan dengan rangkaian resistor 1 Ohm, tegangan thermoelectric hanya mencapai 2 volt dengan arus yang dihasilkan 0.7 sampai 0.8 ampere.



**Gambar 4. 8 Daya hasil konversi gas menjadi listrik**

harga daya yang yang diperoleh dari perkalian tegangan dan arus yang dihasilkan thermoelectric berfluktuasi pada nilai 1.5 – 2.5 watt. Dalam grafik menunjukkan daya maksimum yang diperoleh dimulai detik 500 dan turun mulai detik 2600. Terjadi penurunan daya pada 2600 tersebut disebabkan perbedaan suhu antara permukaan atas dan bawah thermoelectric turun seiring meningkatnya temperatur air sistem pendingin.

Dari data daya yang diperoleh dapat diperhitungkan nilai energi yang dihasilkan selama proses pengukuran. Dari pengulangan pengukuran dan perhitungan yang telah dilakukan

diperoleh data energi yang bersesuaian dengan massa yang digunakan selama 1 jam pengukuran.

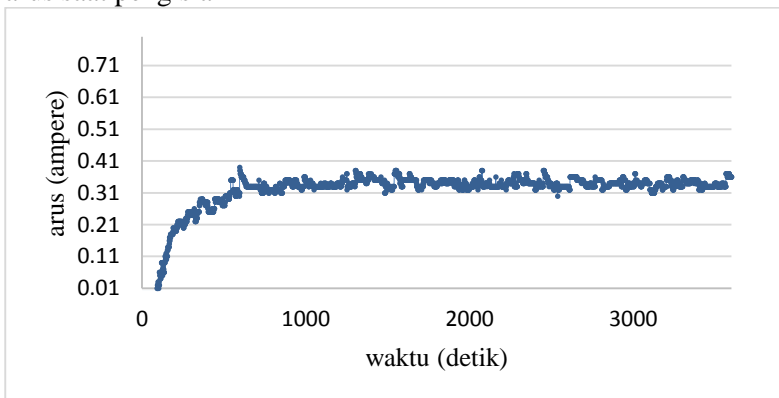
**Tabel 4. 1 Data massa terpakai dan energi diperoleh**

No.1	Massa gas terpakai	Energi diperoleh
1	28 gram	7044.6744 joule
2	31.9 gram	7286.2447 joule
3	32.5 gram	7391.2085 joule
4	32.9 gram	7663.056 joule

Dari data diatas, dapat diketahui massa yang terpakai dalam konversi selama 1 jam kurang lebih 32 gram dan energi yang diperoleh dari 32 gram gas adalah 7391.2085 joule.

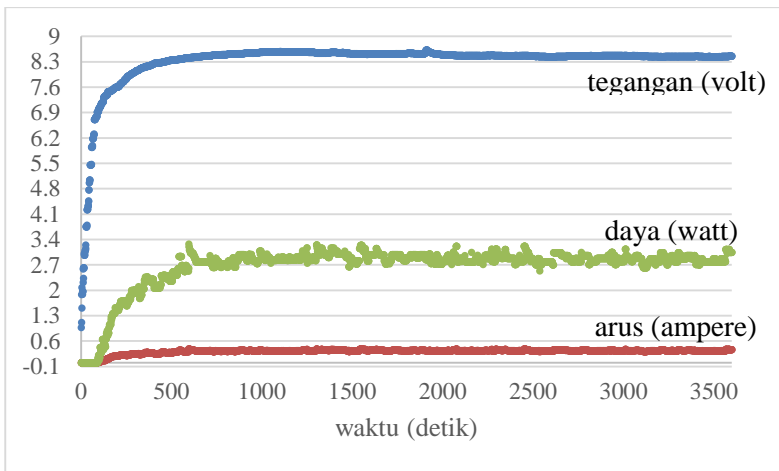
#### 4.5 Pengisian Aki

Pada pengisian aki, keluaran *thermoelectric* dihubungkan rangkaian aki dan resistor 1 Ohm. Aki yang di isi pada penelitian ini memiliki tegangan 6Volt berkapasitas 4,5Ah. Berikut adalah arus saat pengisian



**Gambar 4. 9 arus pengisian aki selama 3610 detik**

Pada pengisian tersebut, menunjukkan bahwa arus pengisian tidak terbaca sejak awal. Baru pada detik 82 diperoleh arus. Hal tersebut disebabkan terdapat tegangan aki yang melawan tegangan thermoelectric. Sehingga sebelum tegangan thermoelectric melebihi tegangan aki, maka belum diperoleh arus pengisian. Pada pengisian ini, diperoleh arus optimum 0.35 Ampere. Data pengisian yang meliputi tegangan, arus dan daya dinyatakan dalam grafik berikut:



**Gambar 4. 10 Tegangan, daya dan arus pengisian aki**

Dari grafik menunjukkan bahwa selama proses pengisian aki dapat mencapai 3 watt dan arus optimal 0.34 ampere. Kapasitas aki yang digunakan adalah 4.5 Ah. Sehingga secara perhitungan waktu yang dibutuhkan untuk pengisian aki hingga penuh adalah 13.23 jam. Selain tegangan, arus dan daya, juga dilakukan pengukuran massa yang digunakan selama proses pengisian aki, pengukuran dilakukan dengan mengukur massa tabung gas sebelum dan

sesudah pengisian. Dari pengukuran yang dilakukan diperoleh massa yang terpakai selama proses pengisian adalah 31 gram.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Berat gas LPG yang terpakai dalam konversi panas menjadi listrik dengan *thermoelectric* selama 1 jam adalah 31.3 gram.
2. Energi listrik yang diperoleh dari panas pembakaran lpg menggunakan *thermoelectric* selama 1 jam adalah 7346.29 joule atau 7.35 KWh.
3. Waktu yang dibutuhkan dalam pengisian aki 6 Volt 4,5 Ah menggunakan TEG SP184827145SA dan sumber panas pembakaran gas LPG secara perhitungan adalah 13 jam.

#### **5.2 Saran**

Berikut saran untuk penelitian berikutnya:  
Alat ukur berat dalam penelitian ini membutuhkan akurasi hingga 1 gram sedangkan berat yang ditimbang mencapai 8 kg sehingga dibutuhkan alat ukur berat yang memenuhi kebutuhan tersebut. Dalam penelitian ini dibuat sendiri alat ukur yang dapat digunakan untuk mengetahui selisih berat hingga 1 gram. Akan tetapi dalam pengukurannya berat yang terukur bukanlah berat yang sebenarnya. Sehingga dalam penelitian ini belum dapat diperoleh pengaruh massa gas yang tersisa didalam tabung. Oleh sebab itu disarankan pada penelitian berikutnya menggunakan alat ukur berat yang dapat mengukur hingga 8 kg dan ketelitian mencapai 1 gram.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## DAFTAR PUSTAKA

1. Goldsmid, Julian. 2009. Introduction to hermoelectricity. Sydney: Springer.
2. Holman, J.P. 1994. Perpindahan Kalor Edisi Keenam, Alih Bahasa Ir. E. Jasjfi, Msc, Erlangga, Jakarta: Erlangga.
3. Ismail, B.I., Ahmed, W.H. 2009. *Thermoelectric* Power Generation Using Waste-Heat Energy as an Alternative Green Technology, Recent Patents on Electricals Engineering, Vol.2, p. 2739. Iskandar, Soetyono. (2014). Perpindahan panas, Teori, Soal dan Penyelesaianr. Yogyakarta: Deepublish.
4. Irawan Rahardjo, Ira Fitriana. 2010. “Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Indonesia”.
5. Rachman, Haolia. 2008. “Penggunaan Modul *Thermoelectric*” . Fakultas Teknik – Universitas Indonesia, Jakarta.
6. Scott F, Michael Shiloh. 2012 . “The Arduino Projects Book”. Torino, Italy.
7. Snyder, G. Jeffrey. 2008 . “Small *Thermoelectric* Generators,” The Electrochemical Society Interface, Fall.
8. Siska, Yulia, 2015. Manusia dan Sejarah (Sebuah Tinjauan Filosofis), Garudhawaca, Yogyakarta.
9. Meyer, w. Hebert, 1972. A History of Electricity and Magnetism, Burndy Library, Norwalk.
10. [www.manadopostonline.com](http://www.manadopostonline.com)
11. [www.data.worldbank.org](http://www.data.worldbank.org)
12. [www.pertamina.com](http://www.pertamina.com)

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## LAMPIRAN

### Lampiran A. Tabel Pengambilan Data

1. Data pengukuran tegangan dan arus keluaran *thermoelectric* dengan beban resistor 1 ohm

	Percobaan 1		Percobaan 2		Percobaan 3		Percobaan 4	
Detik	Volt	Amp	Volt	Amp	Volt	Amp	Volt	amp
1	0.83	0.05	0.99	0.12	1.38	1.86	1.6	0.02
2	1.43	0.06	0.99	0.12	1	1.48	1.6	0.01
3	1.58	0.05	0.98	0.11	1.54	0.95	1.64	0.01
4	1.6	0.04	0.51	0.1	1.01	0.42	2.2	0.04
5	1.61	0.04	0.75	0.09	1.31	0.19	1.72	0.03
6	1.61	0.04	0.75	0.09	1.31	0.28	1.72	0.03
7	2.24	0.03	0.75	0.09	1.31	0.29	1.86	0
8	2.11	0.04	0.94	0.08	1.29	0.4	2.32	-0.01
9	2.11	0.04	0.97	0.09	1.29	0.4	2.29	0.02
10	2.44	0.04	0.97	0.09	1.23	0.39	2.3	0.03
11	1.23	1.24	0.96	0.09	1.23	0.39	2.3	0.03
12	1.25	1.06	0.96	0.09	1.58	0.38	2.3	0.02
13	1.29	0.83	0.99	0.09	1.58	0.38	2.3	0.02
14	1.3	0.71	0.97	0.09	1.39	0.42	0.93	1.29
15	1.36	0.47	0.96	0.09	1.16	0.22	0.93	1.21
16	1.36	0.45	0.96	0.1	1.18	0.39	0.94	1.05
17	1.36	0.45	0.98	0.1	1.18	0.39	0.94	0.93
18	1.36	0.37	0.98	0.1	1.18	0.39	0.94	0.8
19	1.42	0.13	1.15	0.11	1.18	0.39	0.99	0.57
20	1.42	0.13	1.14	0.11	1.21	0.39	0.99	0.48
21	1.51	0.17	1.13	0.11	1.51	0.61	1.09	0.22
22	1.78	0.18	1.12	0.11	1.52	0.45	1.06	0.23

23	1.78	0.19	1.51	0.12	1.58	0.45	1.14	0.24
24	1.77	0.19	1.05	0.23	1.28	0.33	1.14	0.24
25	1.78	0.19	1.56	0.16	1.56	0.34	1.09	0.26
26	1.77	0.19	1.22	0.18	1.58	0.45	1.1	0.26
27	1.77	0.23	1.22	0.18	1.33	0.43	1.1	0.27
28	1.76	0.23	1.22	0.18	1.76	0.43	1.11	0.27
29	1.77	0.24	1.22	0.18	1.73	0.43	1.41	0.34
30	1.76	0.31	1.22	0.18	1.41	0.42	1.41	0.34
31	1.42	0.31	1.22	0.19	1.4	0.41	1.13	0.34
32	1.42	0.31	1.22	0.19	1.4	0.42	1.13	0.34
33	1.43	0.31	1.22	0.19	1.4	0.42	1.51	0.35
34	1.41	0.3	1.61	0.18	1.4	0.42	1.15	0.25
35	1.4	0.36	1.61	0.18	1.4	0.42	1.16	0.25
36	1.79	0.34	1.61	0.19	1.4	0.42	1.16	0.3
37	1.8	0.33	1.53	0.19	1.4	0.42	1.33	0.45
38	1.74	0.33	1.58	0.19	1.4	0.44	1.4	0.44
39	1.73	0.33	1.58	0.19	1.4	0.44	1.4	0.44
40	1.73	0.33	1.58	0.28	1.4	0.45	1.39	0.43
41	1.73	0.33	1.58	0.28	1.48	0.45	1.4	0.43
42	1.61	0.33	1.56	0.26	1.81	0.46	1.39	0.41
43	1.72	0.34	1.57	0.25	1.4	0.47	1.39	0.4
44	1.7	0.34	1.57	0.25	1.41	0.47	1.43	0.41
45	1.7	0.34	1.57	0.25	1.44	0.51	1.78	0.41
46	1.7	0.35	1.57	0.25	1.83	0.5	1.77	0.41
47	1.7	0.35	2.02	0.45	1.44	0.52	1.77	0.43
48	1.72	0.36	2.02	0.45	1.5	0.52	1.77	0.43
49	1.62	0.37	2.02	0.41	1.54	0.52	1.36	0.43
50	1.62	0.37	1.56	0.21	1.53	0.53	1.36	0.42
51	1.63	0.37	1.95	0.23	1.53	0.53	1.39	0.43
52	1.62	0.38	1.83	0.45	1.53	0.53	1.39	0.43

53	2.02	0.39	1.71	0.36	1.6	0.56	1.79	0.43
54	1.73	0.42	1.92	0.38	1.59	0.56	1.47	0.44
55	1.73	0.42	1.67	0.37	1.59	0.56	1.47	0.44
56	1.73	0.42	1.67	0.37	1.58	0.56	1.47	0.44
57	1.73	0.42	1.67	0.37	1.71	0.56	1.46	0.44
58	1.73	0.41	1.69	0.37	1.71	0.56	1.85	0.44
59	1.78	0.41	1.69	0.37	1.68	0.55	1.85	0.44
60	2.15	0.42	1.96	0.38	1.65	0.55	1.85	0.45
61	1.88	0.42	1.97	0.38	1.72	0.54	1.62	0.44
62	1.88	0.42	1.97	0.38	1.72	0.54	1.62	0.45
63	1.89	0.42	1.95	0.35	1.66	0.53	1.68	0.46
64	1.89	0.43	1.79	0.37	1.66	0.53	1.74	0.44
65	1.94	0.43	1.79	0.39	1.8	0.54	1.83	0.45
66	1.94	0.44	1.77	0.4	1.79	0.54	1.84	0.48
67	1.94	0.44	1.77	0.4	1.79	0.55	1.83	0.49
68	1.95	0.44	1.78	0.41	1.96	0.57	1.85	0.49
69	2.18	0.45	1.77	0.41	1.96	0.57	1.44	0.49
70	2.18	0.45	1.77	0.41	1.96	0.57	1.45	0.49
71	2.18	0.45	1.77	0.42	1.96	0.57	1.45	0.49
72	2.15	0.45	1.76	0.42	1.63	0.53	1.45	0.49
73	2.15	0.45	1.76	0.42	1.66	0.54	1.92	0.47
74	2.28	0.44	1.82	0.42	2.08	0.54	1.92	0.49
75	2.28	0.44	1.57	0.41	1.66	0.57	1.78	0.51
76	2.1	0.44	1.57	0.42	1.9	0.62	1.78	0.51
77	1.81	0.47	1.57	0.42	1.9	0.62	1.78	0.51
78	1.81	0.47	1.98	0.5	1.91	0.54	1.8	0.52
79	1.81	0.47	1.8	0.5	1.84	0.53	1.8	0.52
80	2.03	0.53	1.8	0.5	1.84	0.53	1.76	0.53
81	1.65	0.58	1.78	0.5	1.7	0.72	1.77	0.53
82	1.87	0.57	1.78	0.5	1.71	0.68	1.76	0.53

83	1.86	0.58	1.77	0.49	1.74	0.67	1.76	0.53
84	1.87	0.45	1.84	0.51	1.74	0.67	1.79	0.53
85	1.87	0.46	1.84	0.51	1.88	0.66	1.78	0.54
86	1.88	0.45	1.75	0.51	1.88	0.66	1.78	0.53
87	1.88	0.46	1.75	0.51	1.88	0.66	1.78	0.53
88	1.94	0.46	1.75	0.51	1.79	0.66	1.78	0.53
89	1.94	0.46	1.75	0.51	1.96	0.64	2.12	0.57
90	2.28	0.47	1.75	0.51	1.63	0.55	1.62	0.58
91	2.25	0.47	1.97	0.52	1.63	0.55	1.62	0.59
92	2.15	0.47	1.97	0.52	1.62	0.56	1.62	0.59
93	2.15	0.48	1.9	0.52	1.63	0.56	1.62	0.59
94	2.15	0.48	1.86	0.53	1.8	0.57	2.18	0.58
95	2.15	0.5	1.84	0.53	2.17	0.96	2.18	0.58
96	2.15	0.5	1.81	0.53	2.17	0.87	1.79	0.57
97	2.15	0.51	2.19	0.54	1.66	0.36	1.78	0.57
98	1.94	0.52	2.16	0.55	1.66	0.4	1.79	0.57
99	1.93	0.53	1.77	0.56	1.66	0.42	1.78	0.58
100	1.93	0.55	2.09	0.57	2.14	0.84	1.84	0.57
101	1.93	0.55	2.09	0.54	1.64	0.34	1.84	0.58
102	1.92	0.55	1.74	0.57	1.68	0.56	1.84	0.58
103	1.79	0.55	1.74	0.57	1.93	0.64	1.84	0.58
104	1.78	0.56	1.74	0.57	2.15	0.64	1.84	0.58
105	1.79	0.56	1.8	0.56	1.8	0.63	1.84	0.58
106	1.78	0.56	1.8	0.56	2.1	0.63	1.84	0.57
107	1.78	0.56	1.8	0.56	2.1	0.62	1.85	0.58
108	1.79	0.56	1.8	0.56	2.08	0.63	1.85	0.58
109	1.82	0.54	1.8	0.57	2.08	0.64	2.28	0.57
110	1.83	0.55	2.17	0.58	2.08	0.64	1.84	0.58
111	1.95	0.54	1.86	0.57	2.08	0.64	1.84	0.58
112	2.07	0.56	1.87	0.58	2.08	0.64	1.84	0.57

113	2.48	0.58	1.85	0.57	2.15	0.64	1.84	0.57
114	2.3	0.57	1.86	0.58	2.05	0.65	1.84	0.57
115	2.37	0.58	1.86	0.59	2.05	0.65	1.85	0.57
116	2.37	0.58	1.86	0.67	2.05	0.65	1.85	0.57
117	2.37	0.57	1.82	0.67	2.05	0.65	2.39	0.59
118	2.36	0.57	1.82	0.66	2.04	0.64	2.02	0.62
119	2.36	0.57	1.82	0.66	2.04	0.64	2.33	0.58
120	2.37	0.55	2.19	0.65	2.04	0.64	2.18	0.61
121	2.37	0.55	1.84	0.67	2.03	0.64	2.2	0.51
122	2.37	0.55	1.84	0.66	2.03	0.64	2.22	0.68
123	2.36	0.56	1.84	0.65	2	0.65	2.16	0.48
124	2.36	0.56	1.85	0.64	2.34	0.67	2.16	0.62
125	2.36	0.56	1.85	0.64	1.84	0.66	2.18	0.63
126	1.92	0.96	1.84	0.64	1.84	0.65	2.12	0.62
127	1.93	0.8	1.84	0.64	2.39	0.64	2.13	0.62
128	1.93	0.77	1.84	0.64	1.84	0.65	2.12	0.63
129	2.53	0.34	1.86	0.59	2.21	0.66	2.12	0.63
130	2.53	0.34	1.87	0.59	2.21	0.66	2.12	0.62
131	2.53	0.4	2.26	0.6	2.14	0.67	2.43	0.63
132	2.52	0.56	1.93	0.6	2.14	0.67	2.43	0.62
133	2.51	0.56	2.32	0.59	2.21	0.66	1.92	0.63
134	2.47	0.57	2.28	0.61	2.21	0.66	1.93	0.63
135	2.22	0.58	2.28	0.61	2.06	0.67	2.49	0.61
136	2.22	0.58	1.78	0.61	2.08	0.67	2.47	0.62
137	2.22	0.58	1.8	0.62	2.09	0.67	2	0.62
138	2.22	0.58	1.8	0.62	2.1	0.68	2	0.62
139	2.6	0.59	1.8	0.62	2.11	0.69	2	0.62
140	2.17	0.6	1.89	0.62	2.1	0.69	2.4	0.63
141	2.3	0.71	1.89	0.62	2.1	0.69	2.4	0.63
142	2.3	0.71	1.89	0.62	2.14	0.68	2.4	0.63

143	2.3	0.7	1.89	0.62	2.14	0.67	2.28	0.63
144	2.3	0.7	1.89	0.62	2.05	0.67	2.27	0.63
145	2.25	0.69	1.97	0.82	2.1	0.67	2.29	0.63
146	2.24	0.61	2	0.67	2.13	0.68	2.29	0.63
147	2.23	0.62	1.94	0.67	2.06	0.67	2.31	0.63
148	2.23	0.62	1.94	0.67	2.07	0.69	2.29	0.64
149	2.23	0.62	1.94	0.67	2.07	0.69	2.27	0.64
150	2.23	0.62	1.94	0.67	2.1	0.69	2.26	0.63
151	1.8	0.63	1.94	0.67	2.09	0.7	2.26	0.63
152	1.89	0.63	1.94	0.66	2.09	0.69	2.28	0.63
153	2.47	0.64	1.93	0.66	2.08	0.69	2.25	0.63
154	2.47	0.64	1.93	0.66	2.22	0.71	2.24	0.64
155	2.28	0.63	2.36	0.42	2.22	0.71	2.22	0.64
156	2.27	0.63	1.82	0.96	2.13	0.71	2.22	0.64
157	2.23	0.62	1.92	0.7	2.08	0.71	2.2	0.63
158	2.52	0.63	2.23	0.68	2.09	0.7	2.14	0.64
159	2.52	0.63	2.03	0.67	2.09	0.71	2.15	0.64
160	2.52	0.63	2.04	0.67	2.09	0.7	2.44	0.63
161	2.51	0.63	2.04	0.67	2.09	0.7	2.44	0.63
162	2.52	0.63	2.05	0.61	2.07	0.71	2.27	0.82
163	2.3	0.62	2.34	0.61	2.08	0.71	2.16	0.61
164	2.3	0.63	2.06	0.62	2.11	0.71	2.16	0.61
165	2.06	0.62	2.05	0.63	2.29	0.71	2.16	0.61
166	2.06	0.62	2.06	0.6	1.98	0.72	2.16	0.61
167	2.06	0.62	2.05	0.77	1.98	0.72	2.15	0.62
168	2.07	0.62	2.02	0.62	1.98	0.72	2.15	0.62
169	2.24	0.63	2.02	0.61	1.98	0.72	2.15	0.64
170	2.39	0.63	2.03	0.63	2.47	0.71	2.15	0.64
171	2.28	0.66	2.02	0.64	2.44	0.69	2.15	0.64
172	2.28	0.66	2.27	0.63	2.44	0.69	2.13	0.65



173	2.28	0.66	2.17	0.63	2.36	0.7	2.41	0.65
174	2.28	0.66	2.07	0.63	2.36	0.7	2.42	0.65
175	2.1	0.67	2.07	0.63	2.36	0.7	2.37	0.66
176	2.63	0.66	2.07	0.63	1.97	0.7	2.41	0.86
177	2.1	0.68	2.36	0.64	2.14	0.71	2.4	0.8
178	2.69	1.08	2.36	0.65	2.18	0.69	2.16	0.78
179	2.29	0.68	1.92	0.67	2.19	0.69	2.15	0.75
180	2.03	0.67	1.92	0.67	2.19	0.68	2.16	0.74
181	2.26	0.68	1.93	0.67	2.16	0.68	2.16	0.74
182	1.89	0.95	2.16	0.66	2.46	0.67	2.16	0.74
183	1.89	0.94	2.16	0.67	2.02	0.68	2.16	0.73
184	1.91	0.75	2.26	0.71	2.05	0.69	2.16	0.73
185	2.49	0.47	1.93	0.7	2.04	0.7	2.15	0.73
186	2.48	0.57	2.41	0.71	2.04	0.7	2.16	0.73
187	2.47	0.58	1.84	0.7	2.04	0.7	2.16	0.73
188	2.43	0.6	2.41	0.73	2.34	0.71	2.26	0.73
189	2.13	0.71	1.9	0.64	2.06	0.72	2.26	0.73
190	2.13	0.71	2.24	0.67	2.06	0.73	2.26	0.71
191	2.13	0.71	2.12	0.67	2.06	0.73	2.47	0.71
192	2.13	0.71	2.11	0.67	2.06	0.73	2.43	0.71
193	2.49	0.7	2.11	0.67	2.44	0.72	2.43	0.72
194	2.49	0.7	2.11	0.68	2	0.73	2.42	0.72
195	2.07	0.71	2.11	0.67	2.47	0.71	2.13	0.72
196	2.06	0.7	2.11	0.67	2.1	0.79	2.14	0.72
197	2.1	0.7	2.12	0.67	2.48	0.43	2.57	0.67
198	2.06	0.71	2.11	0.68	2.02	0.88	2.08	0.66
199	2.36	0.72	2.11	0.67	2.02	0.87	2.59	0.68
200	2.36	0.7	2.11	0.68	2.04	0.84	2.22	0.67
201	2.33	0.69	2.09	0.68	2.07	0.77	2.22	0.67
202	2.03	0.68	2.41	0.91	2.07	0.77	2.6	0.68

203	2.03	0.68	1.86	0.35	2.07	0.77	2.17	0.67
204	2.39	0.61	2.35	0.84	2.07	0.76	2.59	0.66
205	2.38	0.64	2.35	0.83	2.25	0.73	2.06	0.67
206	2.38	0.67	2.2	0.55	2.25	0.73	2.07	0.67
207	2.39	0.69	2.21	0.69	2.44	0.76	2.07	0.67
208	2.39	0.68	2.19	0.69	2.39	0.77	2.08	0.69
209	2.39	0.68	2.15	0.69	2.09	0.77	2.08	0.69
210	2.39	0.68	2.12	0.7	2.27	0.54	2.08	0.69
211	2.37	0.68	2.12	0.82	2.29	0.63	2.12	0.71
212	2.37	0.7	2.12	0.82	2.29	0.64	2.12	0.71
213	2.36	0.7	2.13	0.8	2.47	0.66	2.37	0.72
214	2.37	0.7	2.3	0.8	2.27	0.73	2.34	0.71
215	2.16	0.69	2.27	0.79	2.27	0.73	2.39	0.69
216	2.19	0.7	2.27	0.78	2.28	0.73	2.38	0.69
217	2.16	0.71	2.27	0.76	2.39	0.73	2.45	0.71
218	2.2	0.69	2.06	0.77	2.35	0.73	2.45	0.71
219	2.21	0.69	2.36	0.77	2.33	0.73	2.47	0.71
220	2.18	0.69	2.03	0.76	2.33	0.73	2.48	0.74
221	2.05	0.71	2.03	0.72	2.29	0.73	2.45	0.73
222	2.06	0.7	2.31	0.68	2.26	0.75	2.45	0.73
223	2.13	0.7	2.27	0.68	2.23	0.75	2.15	0.72
224	2.42	0.71	2.2	0.67	2.47	0.74	2.61	0.71
225	2.34	0.7	2.2	0.67	2.13	0.75	2.36	0.72
226	2.34	0.7	2.11	0.68	2.12	0.75	2.36	0.72
227	2.29	0.71	2.11	0.68	2.12	0.75	2.36	0.72
228	2.29	0.71	2.11	0.7	2.12	0.75	2.36	0.72
229	2.91	0.69	2.11	0.69	2.12	0.72	2.35	0.72
230	2.25	0.73	2.11	0.69	2.12	0.73	2.32	0.75
231	2.25	0.73	2.11	0.69	2.14	0.72	2.42	0.73
232	2.28	0.73	2.11	0.69	2.14	0.71	2.42	0.73

233	2.48	0.72	2.11	0.69	2.16	0.75	2.29	0.76
234	2.8	0.72	2.2	0.71	2.51	0.74	2.3	0.75
235	2.79	0.72	2.2	0.7	2.06	0.77	2.29	0.75
236	2.65	0.69	2.19	0.72	2.07	0.77	2.29	0.75
237	2.65	0.69	2.19	0.72	2.08	0.77	2.29	0.75
238	2.35	0.69	2.42	0.72	2.08	0.77	2.28	0.74
239	2.77	0.7	1.98	0.72	2.08	0.77	2.28	0.74
240	2.48	0.71	1.99	0.72	2.18	0.77	2.28	0.74
241	2.49	0.71	2.35	0.73	2.19	0.77	2.28	0.74
242	2.62	0.72	2.04	0.72	2.21	0.8	2.55	0.73
243	2.62	0.72	2.24	0.72	2.29	0.8	2.56	0.72
244	2.5	0.72	2.24	0.72	2.29	0.8	2.44	0.73
245	2.48	0.72	2.24	0.72	2.33	0.81	2.45	0.73
246	2.75	0.77	2.22	0.75	2.32	0.81	2.43	0.73
247	2.75	0.76	2.2	0.75	2.33	0.81	2.45	0.73
248	2.74	0.76	2.18	0.75	2.33	0.81	2.45	0.73
249	2.77	0.76	2.28	0.76	2.32	0.8	2.45	0.73
250	2.77	0.76	2.23	0.75	2.32	0.8	2.39	0.72
251	2.77	0.75	2.23	0.75	2.33	0.79	2.38	0.72
252	2.75	0.76	2.41	0.74	2.3	0.73	2.39	0.72
253	2.35	0.76	2.41	0.74	2.29	0.72	2.39	0.72
254	2.44	0.77	2.41	0.74	2.28	0.72	2.39	0.72
255	2.44	0.77	2.41	0.74	2.28	0.74	2.39	0.72
256	2.44	0.77	2.26	0.73	2.27	0.74	2.4	0.72
257	2.16	0.77	2.46	0.74	2.26	0.74	2.41	0.75
258	2.16	0.77	2.02	0.73	2.33	0.87	2.42	0.74
259	2.36	0.77	2.06	0.73	2.33	0.87	2.42	0.74
260	2.38	0.76	2.06	0.73	2.32	0.75	2.4	0.83
261	2.43	0.76	2.36	0.72	2.3	0.76	2.4	0.83
262	2.41	0.76	2.36	0.73	2.3	0.76	2.67	0.77

263	2.41	0.76	2.36	0.73	2.3	0.76	2.66	0.76
264	2.41	0.76	2.36	0.73	2.3	0.76	2.19	0.71
265	2.42	0.66	2.36	0.73	2.26	0.74	2.63	0.73
266	2.68	0.66	2.03	0.77	2.6	0.74	2.63	0.73
267	2.67	0.8	2.03	0.77	2.6	0.74	2.29	0.74
268	2.42	0.79	2.47	0.77	2.58	0.75	2.3	0.73
269	2.42	0.75	2.47	0.76	2.35	0.75	2.32	0.73
270	2.97	0.78	2.27	0.59	2.33	0.75	2.32	0.73
271	2.57	0.71	2.28	0.72	2.33	0.76	2.32	0.73
272	2.81	0.7	2.28	0.72	2.32	0.76	2.32	0.73
273	2.81	0.7	2.27	0.74	2.47	0.77	2.32	0.74
274	2.81	0.7	2.27	0.74	2.47	0.76	2.32	0.74
275	2.33	0.72	2.26	0.74	2.47	0.76	2.72	0.77
276	2.34	0.73	2.47	0.74	2.26	0.77	2.72	0.76
277	2.81	0.72	2.47	0.74	2.66	0.78	2.72	0.76
278	2.8	0.72	2.46	0.73	2.65	0.78	2.25	0.77
279	2.79	0.72	2.05	0.72	2.14	0.76	2.25	0.77
280	2.79	0.72	2.13	0.76	2.65	0.75	2.25	0.77
281	2.79	0.72	2.13	0.75	2.21	0.76	2.26	0.77
282	2.37	0.79	2.13	0.75	2.2	0.76	2.26	0.77
283	2.38	0.79	2.13	0.75	2.2	0.76	2.26	0.77
284	2.4	0.78	2.13	0.76	2.2	0.76	2.36	0.77
285	2.38	0.79	2.15	0.75	2.65	0.77	2.35	0.77
286	2.38	0.79	2.15	0.75	2.35	0.77	2.35	0.76
287	2.38	0.79	2.15	0.75	2.36	0.77	2.35	0.76
288	2.38	0.78	2.15	0.75	2.33	0.76	2.37	0.75
289	2.38	0.78	2.16	0.75	2.32	0.76	2.37	0.75
290	2.4	0.79	2.17	0.75	2.34	0.76	2.37	0.76
291	2.39	0.78	2.17	0.75	2.34	0.76	2.37	0.76

292	2.35	0.78	2.17	0.75	2.31	0.77	2.37	0.75
293	2.34	0.78	2.4	0.75	2.3	0.79	2.37	0.75
294	2.34	0.78	2.41	0.74	2.33	0.8	2.36	0.76
295	2.34	0.77	2.06	0.74	2.33	0.8	2.37	0.76
296	2.33	0.77	2.43	0.76	2.33	0.82	2.37	0.76
297	2.33	0.77	2.03	0.76	2.31	0.82	2.37	0.76
298	2.32	0.77	2.47	0.76	2.6	0.83	2.36	0.76
299	2.32	0.76	2.13	0.77	2.49	0.82	2.36	0.78
300	2.75	0.76	2.15	0.77	2.24	0.82	2.36	0.77
301	2.72	0.76	2.38	0.53	2.27	0.79	2.35	0.77
302	2.6	0.74	2.39	0.65	2.26	0.79	2.36	0.77
303	2.6	0.74	2.19	0.94	2.27	0.8	2.36	0.77
304	2.24	0.74	2.19	0.93	2.28	0.79	2.36	0.77
305	2.25	0.74	2.19	0.89	2.63	0.78	2.38	0.78
306	2.25	0.74	2.19	0.85	2.34	0.77	2.37	0.77
307	2.25	0.75	2.43	0.83	2.35	0.77	2.37	0.77
308	2.25	0.75	2.42	0.8	2.34	0.77	2.37	0.77
309	2.25	0.75	2.42	0.8	2.37	0.76	2.37	0.77
310	2.27	0.76	2.09	0.81	2.34	0.76	2.36	0.76
311	2.68	0.75	2.61	0.76	2.36	0.8	2.36	0.76
312	2.19	0.77	2.61	0.77	2.36	0.8	2.79	0.76
313	2.69	0.77	2.24	0.76	2.58	0.81	2.27	0.75
314	2.68	0.79	2.24	0.76	2.22	0.8	2.4	0.76
315	2.21	0.8	2.24	0.76	2.42	0.81	2.4	0.76
316	2.24	0.7	2.25	0.76	2.42	0.81	2.4	0.76
317	2.25	0.7	2.24	0.77	2.43	0.81	2.4	0.77
318	2.37	0.71	2.45	0.78	2.42	0.8	2.42	0.77
319	2.36	0.71	2.45	0.78	2.41	0.81	2.42	0.77
320	2.36	0.71	2.46	0.8	2.39	0.81	2.42	0.77
321	2.34	0.75	2.44	0.8	2.35	0.81	2.43	0.77

322	2.37	0.75	2.44	0.8	2.35	0.81	2.43	0.77
323	2.34	0.76	2.45	0.79	2.36	0.81	2.43	0.77
324	2.34	0.76	2.35	0.78	2.37	0.81	2.41	0.77
325	2.29	0.74	2.34	0.78	2.3	0.81	2.42	0.77
326	2.3	0.75	2.34	0.78	2.3	0.81	2.41	0.77
327	2.28	0.75	2.41	0.79	2.3	0.81	2.41	0.77
328	2.27	0.75	2.26	0.78	2.3	0.81	2.41	0.77
329	2.33	0.83	2.27	0.78	2.3	0.81	2.41	0.77
330	2.33	0.83	2.33	0.79	2.64	0.8	2.64	0.76
331	2.33	0.83	2.34	0.74	2.28	0.81	2.61	0.76
332	2.33	0.82	2.34	0.79	2.28	0.8	2.57	0.76
333	2.31	0.82	2.35	0.79	2.44	0.82	2.57	0.76
334	2.28	0.81	2.34	0.79	2.32	0.82	2.55	0.77
335	2.59	0.8	2.32	0.79	2.33	0.82	2.59	0.77
336	2.59	0.8	2.31	0.79	2.33	0.82	2.58	0.77
337	2.08	0.81	2.55	0.78	2.47	0.82	2.58	0.77
338	2.59	0.82	2.53	0.78	2.47	0.82	2.46	0.77
339	2.59	0.82	2.19	0.79	2.47	0.82	2.46	0.77
340	2.17	0.81	2.48	0.81	2.48	0.82	2.46	0.77
341	2.17	0.8	2.48	0.81	2.49	0.82	2.46	0.77
342	2.17	0.8	2.48	0.81	2.43	0.81	2.46	0.76
343	2.45	0.79	2.47	0.75	2.37	0.82	2.46	0.76
344	2.45	0.79	2.47	0.75	2.35	0.82	2.73	0.84
345	2.45	0.79	2.21	0.75	2.35	0.81	2.43	0.75
346	2.91	0.8	2.21	0.75	2.33	0.81	2.56	0.76
347	2.47	0.79	2.21	0.75	2.33	0.8	2.51	0.76
348	2.47	0.79	2.54	0.74	2.34	0.79	2.65	0.77
349	2.53	0.79	2.42	0.76	2.34	0.79	2.61	0.76
350	2.67	0.78	2.3	0.75	2.34	0.79	2.62	0.76
351	2.67	0.78	2.29	0.76	2.34	0.79	2.5	0.76

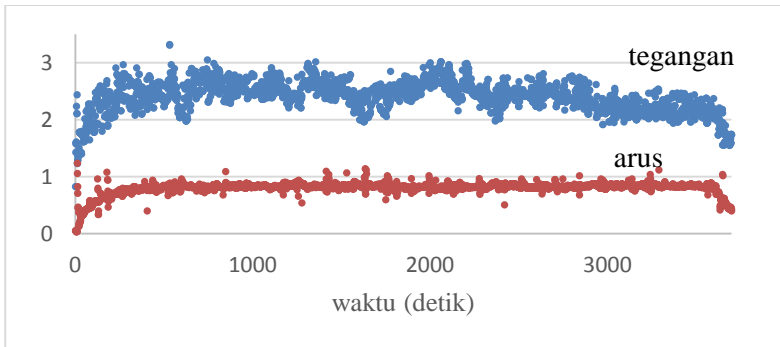
352	2.66	0.78	2.29	0.76	2.34	0.8	2.53	0.76
353	2.66	0.77	2.29	0.76	2.38	0.8	2.53	0.76
354	2.64	0.75	2.33	0.77	2.38	0.8	2.54	0.77
355	2.52	0.76	2.32	0.77	2.33	0.81	2.53	0.77
356	2.54	0.76	2.37	0.77	2.3	0.8	2.49	0.77
357	2.54	0.77	2.36	0.77	2.3	0.8	2.5	0.77
358	2.55	0.75	2.36	0.77	2.3	0.8	2.5	0.77
359	2.8	0.76	2.36	0.78	2.65	0.79	2.5	0.77
360	2.8	0.76	2.36	0.78	2.64	0.79	2.5	0.77
361	2.48	0.77	2.34	0.78	2.56	0.8	2.49	0.77
362	2.49	0.77	2.34	0.78	2.28	0.79	2.48	0.77
363	2.49	0.77	2.65	0.79	2.28	0.79	2.48	0.78
364	2.28	0.76	2.21	0.82	2.71	0.78	2.48	0.77
365	2.28	0.77	2.21	0.82	2.23	0.79	2.48	0.77
366	2.29	0.77	2.22	0.81	2.23	0.79	2.48	0.77
367	2.42	0.78	2.23	0.82	2.23	0.8	2.49	0.75
368	2.24	0.81	2.31	0.81	2.41	0.8	2.48	0.74
369	2.25	0.79	2.73	0.77	2.5	0.8	2.53	0.74
370	2.25	0.79	2.31	0.78	2.49	0.81	2.53	0.74
371	2.25	0.79	2.31	0.78	2.39	0.87	2.52	0.74
372	2.33	0.79	2.32	0.78	2.4	0.86	2.52	0.74
373	2.29	0.79	2.32	0.79	2.42	0.84	2.57	0.74
374	2.58	0.78	2.32	0.79	2.49	0.84	2.56	0.74
375	2.1	0.77	2.31	0.79	2.49	0.84	2.58	0.74
376	2.11	0.78	2.31	0.79	2.49	0.83	2.57	0.74
377	2.57	0.78	2.33	0.79	2.18	0.76	2.47	0.76
378	2.57	0.77	2.32	0.79	2.18	0.77	2.47	0.76
379	2.43	0.77	2.31	0.79	2.19	0.77	2.46	0.74
380	2.33	0.77	2.31	0.79	2.19	0.77	2.45	0.74
381	2.32	0.78	2.55	0.78	2.2	0.77	2.45	0.75

382	2.32	0.78	2.54	0.79	2.2	0.77	2.46	0.75
383	2.32	0.78	2.49	0.78	2.21	0.78	2.45	0.75
384	2.32	0.78	2.49	0.78	2.5	0.78	2.45	0.75
385	2.32	0.78	2.29	0.78	2.38	0.79	2.44	0.76
386	2.32	0.78	2.29	0.78	2.38	0.79	2.75	0.76
387	2.32	0.78	2.29	0.78	2.37	0.8	2.75	0.76
388	2.32	0.78	2.29	0.78	2.37	0.8	2.31	0.77
389	2.32	0.78	2.29	0.79	2.5	0.8	2.81	0.78
390	2.31	0.79	2.3	0.79	2.32	0.8	2.56	0.77
391	2.39	0.92	2.29	0.79	2.32	0.81	2.57	0.77
392	2.39	0.85	2.29	0.79	2.31	0.8	2.5	0.76
393	2.38	0.86	2.31	0.78	2.32	0.8	2.5	0.77
394	2.43	0.85	2.31	0.78	2.32	0.8	2.66	0.77
395	2.43	0.84	2.31	0.78	2.32	0.8	2.63	0.77
396	2.43	0.84	2.31	0.79	2.32	0.8	2.49	0.73
397	2.43	0.84	2.31	0.79	2.63	0.81	2.73	0.76
398	2.42	0.84	2.31	0.79	2.63	0.81	2.71	0.77
399	2.42	0.84	2.3	0.79	2.19	0.81	2.7	0.77
400	2.49	0.83	2.3	0.79	2.32	0.82	2.42	0.78

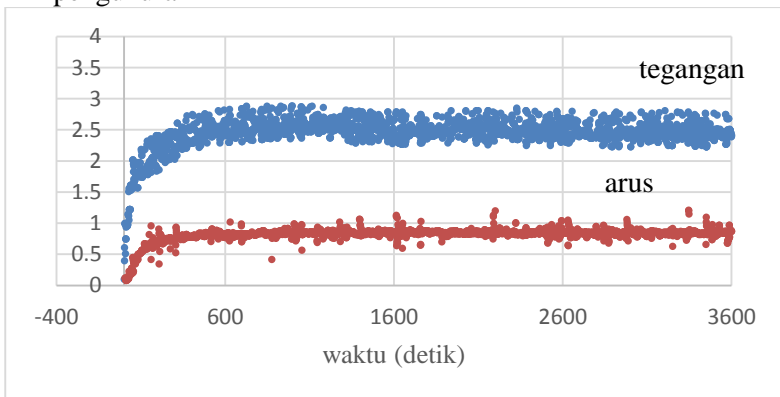
Data seterusnya di gambarkan dalam grafik berikut:



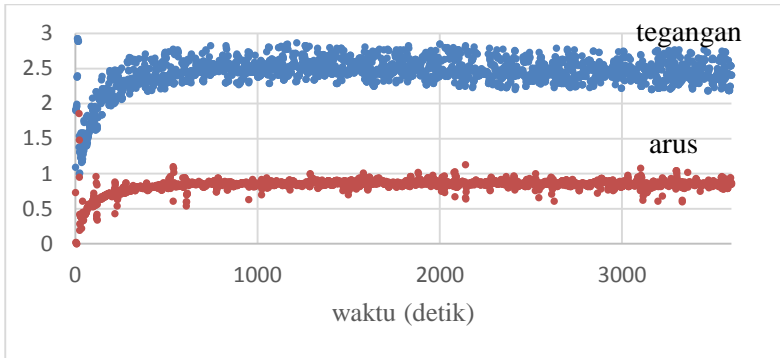
2. Data tegangan dan arus konversi gas menjadi listrik pengukuran 1



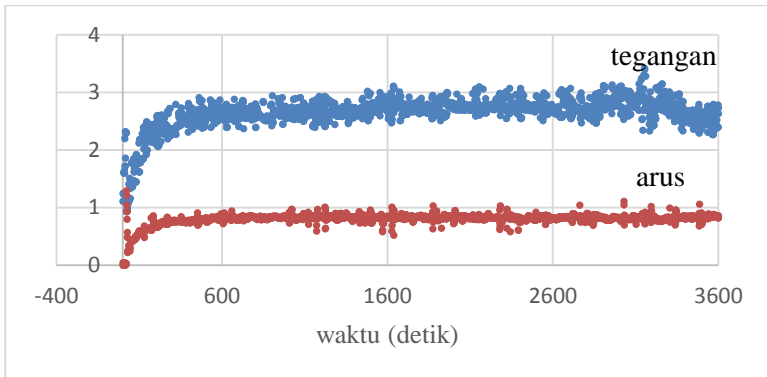
3. Data tegangan dan arus konversi gas menjadi listrik pengukuran 2



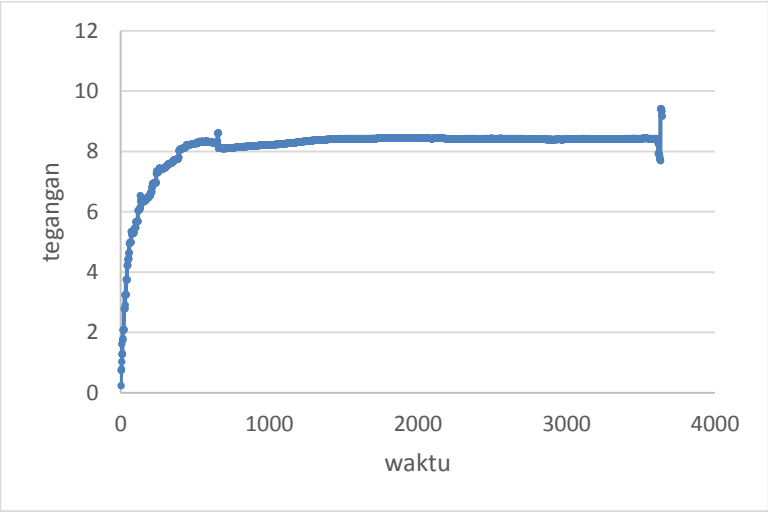
4. Data tegangan dan arus konversi gas menjadi listrik pengukuran 3



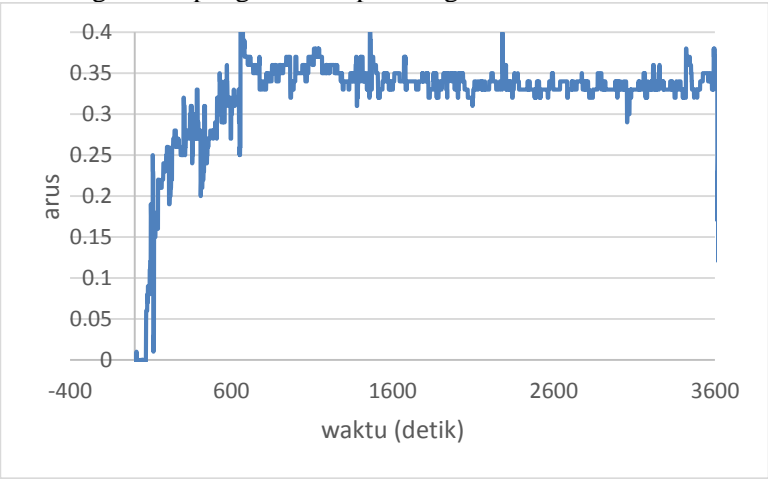
5. Data tegangan dan arus konversi gas menjadi listrik pengukuran 4



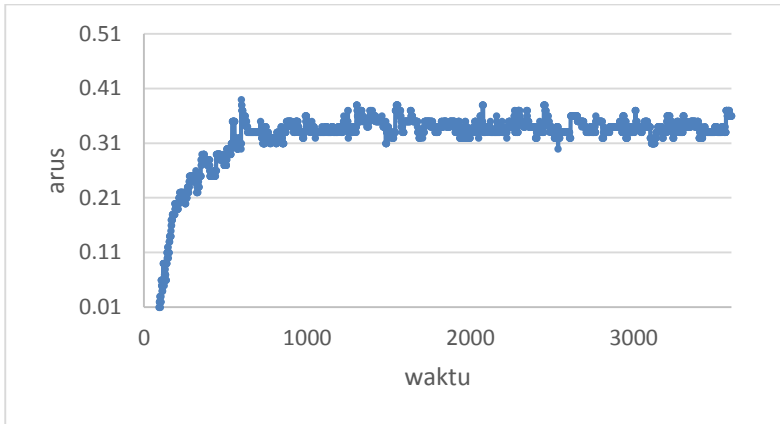
6. Gragik tegangan pengisian aki perulangan 1



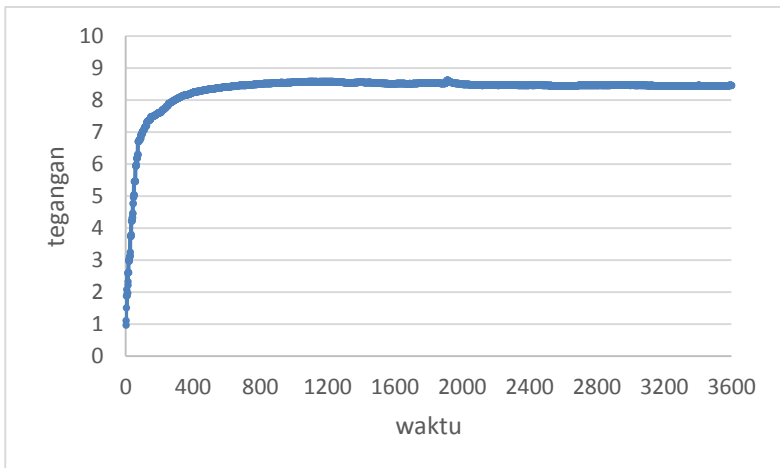
7. Gragik arus pengisian aki perulangan 1



8. Gragik arus pengisian aki perulangan 2



9. Gragik tegangan pengisian aki perulangan 2



## **Lampiran B. Foto Alat**

### **1. Tungku Sistem Pemanas Dengan 21 Titik Api**



### **2. Tampak Samping Kompur Dan Tungku**





### 3. Sistem Timbangan



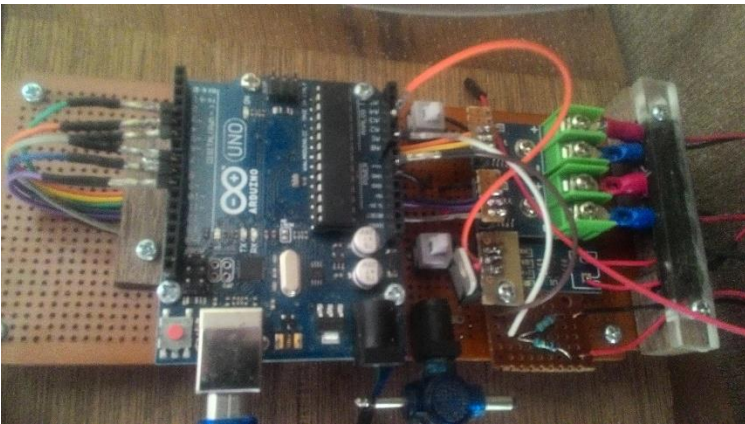


#### 4. Kondisi Thermoelectric Pada Lempeng





## 5. Sistem sensor





## 6. Kondisi Pengambilan Data



## 7. Kondisi sistem pemanas



## BIODATA



Penulis bernama Samsul Arifai, biasa dipanggil Sam atau Sul. penulis merupakan anak terakhir dari enam bersaudara, dilahirkan di Ogan Komering Ulu Timur, 24 April 1991. Saat ini tinggal di desa Sumber Sari, kecamatan Belitang II, kabupaten Ogan Komering Ulu Timur. Riwayat pendidikan formal penulis dimulai dari Sekolah Dasar

Negeri 1 Sumber Sari pada tahun 1997 hingga tahun 2003. Melanjutkan tingkat menengah di SMP N 2 Belitang II, dan menyelesaikan pendidikan tingkat atas pada tahun 2010 di Madrasah Aliyah Negeri Padang Ratu, Sungkai Utara Lampung Utara. Pada tahun 2010 penulis menempuh perkuliahan di Jurusan Fisika FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Selama perkuliahan penulis bergabung dalam Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMASIKA) ITS periode 2011-2012 dan 2012-2013 sebagai staff Bagian Dalam Negeri HIMASIKA dan dalam periode yang sama bergabung dalam Forum Studi Islam Fisika ITS. Aktivitas lain yang diikuti penulis yaitu bergabung dalam Komunitas Belajar Robot dan Elektronika (KOMBONK). Penulis berharap penelitian tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi masyarakat dan penelitian selanjutnya. Kritik dan saran kepada penulis dapat disampaikan ke [samsularifai571@gmail.com](mailto:samsularifai571@gmail.com).